FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

F 2842

Nadine Krüger, Wiebke Kirchhof,
Swen Klauß, Kirsten Höttges

Leitfaden für abgestimmte Modernisierungsempfehlungen bei Nichtwohngebäuden unter besonderer Berücksichtigung der Fassade

Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

Fraunhofer IRB Verlag

F 2842

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2013

ISBN 978-3-8167-8964-2

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

Bitte beachten:

Fehlende Seiten sind **Leerseiten**,
die bei Erstellung
der PDF-Datei für den Download nicht
berücksichtigt wurden

Fraunhofer IRB Verlag

UNIKASSEL VERSITÄT

ZUB Zentrum für Umweltbewusstes Bauen

Fraunhofer IBP

Endbericht – September 2012

Leitfaden für abgestimmte Modernisierungsempfehlungen bei Nichtwohngebäuden unter besonderer Berücksichtigung der Fassade

Forschungsnehmer: Universität Kassel
Fachgebiet Bauphysik
Gottschalkstraße 28a
34127 Kassel

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Nadine Krüger
Dipl.-Ing. Wiebke Kirchhof
Dipl.-Ing. Swen Klauß
Dipl.-Ing. Kirsten Höttges (IBP)

Kassel, November 2012

Prof. Dr.-Ing. Anton Maas

Dipl.-Ing. Swen Klauß

Projektdaten

Zuwendungsempfänger:	Universität Kassel 34109 Kassel In Kooperation mit Fraunhofer Institut für Bauphysik Gottschalkstraße 28a 34127 Kassel (Hinweis: Das Projektbearbeitung wurde vom Verein ZUB e.V. begonnen und zum 1.1.2012 an die Universität Kassel übertragen)
Industriepartner:	BV Flachglas e.V. Mülheimer Straße 1, 53840 Troisdorf BV Rollladen + Sonnenschutz e. V. Hopmannstraße 2, 53177 Bonn Verband Fenster + Fassade Walter-Kolb-Straße 1-7, 60594 Frankfurt a.M.
Aktenzeichen:	(SF – 10.08.18.7-11.12) Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. Die Verantwortung liegt beim Autor
Langtitel:	Forschungsinitiative Zukunft Bau Leitfaden für abgestimmte Modernisierungsempfehlungen bei Nichtwohngebäuden unter besonderer Berücksichtigung der Fassade
Laufzeit des Vorhabens:	15.7.2011 bis 15.9.2012
Berichtszeitraum:	15.7.2011 bis 15.9.2012

Inhalt

Kurzbeschreibung 5
1 Einleitung 6
1.1 Adressaten 7
1.2 Ausgangslage 7
1.2.1 Unterschiede zum Wohngebäudebereich 7
1.2.2 Einfluss der Gebäudenutzung auf den Energiebedarf 9
1.2.3 Berechnung des Energieeinsparpotenzials 9
2 Bearbeitung und Festlegungen 10
2.1 Ergebnisse der Literaturrecherche 10
2.1.1 Nichtwohngebäudebestand in Deutschland 10
2.1.2 Verbrauchsstrukturen von Nichtwohngebäuden 12
2.2 Gliederung, Struktur und Festlegungen bezüglich des Leitfadens 12
3 Identifizierung der Nichtwohngebäudetypen 13
3.1 Beschreibung der nutzungsspezifischen Merkmale 16
3.1.1 Bürogebäude 16
3.1.2 Schulen 16
3.1.3 Sportstätten 18
3.1.4 Hotels 19
3.1.5 Handel und Industrie 19
4 Betrachtete Sanierungsmaßnahmen 20
4.1 Grundlegende Sanierungsstrategien 21
4.1.1 Instandsetzung 21
4.1.2 Rückbau, Austausch und Neuerrichtung 21
4.2 Beschreibung der festgelegten Maßnahmen inklusive Effekten 22
4.2.1 Anforderungen an die Behaglichkeit 22
4.2.2 Winterlicher Wärmeschutz 22
4.2.3 Sommerlicher Wärmeschutz 23
4.2.4 Anlagentechnische Maßnahmen 23
4.2.6 Weitere Anforderungen 23
5 Ergebnisse der Forschungsarbeit 24
6 Bearbeitungsgrundlagen und Herleitungen 30
6.1 Randbedingungen für die Berechnungen - Zentralraummodul 30
6.2 Herleitung einer mittleren Anlagenaufwandszahl für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen 31

6.2.1 Modellgebäude 32
6.2.2 Spezifikation "Altanlage" 32
6.2.3 Spezifikation "modernisierte Anlage" 33
6.2.4 Festlegung weiterer Randbedingungen 33
6.2.5 Quantifizierung der Bandbreite der Anlagenaufwandszahlen 34
6.3 Lesehilfe Maßnahmenblätter - Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 34
7 Fazit 38
Literatur- und Quellenverzeichnis 39
Abbildungsverzeichnis 41
Anhang 42
Arbeitspakete 42
Fassadenbezogene Hinweise, Besonderheiten und Anforderungen 43
Fassadenbauweisen und Konstruktionsarten 43
Typische Mängel und Schäden an der Gebäudehülle 50
Anforderungen an die Fassadensanierung 55

Kurzbeschreibung

Ziel des Vorhabens ist es, Hilfestellungen für die Erstellung von Modernisierungsempfehlungen zur fassadenbezogenen Verbesserung der energetischen Qualität von Nichtwohngebäuden bereitzustellen. Im Ergebnis soll auf diese Weise ein Maßnahmenkatalog mit übersichtlich zusammengefassten, prinzipiellen Modernisierungsempfehlungen entstehen. Dies soll erfolgen unter Berücksichtigung

- baukonstruktiver, bauphysikalischer, anlagentechnischer und gestalterischer Aspekte,
- der Darstellung von Energieeinsparpotenzialen und
- von Angaben zur Wirtschaftlichkeit von Modernisierungsempfehlungen.

Diese Modernisierungsempfehlungen können u.a. beim bedarfsorientierten Energieausweis zur Beschreibung der bau- und anlagentechnischen sowie gestalterischen Aspekte und darüber hinaus beim verbrauchsorientierten Energieausweis zur Darstellung der möglichen Energieeinsparung infolge Einzelmaßnahmen oder Kombinationen solcher und deren Wirtschaftlichkeit herangezogen werden.

Neben der Bereitstellung von Modernisierungsempfehlungen werden Hinweise auf allgemeine Planungsaspekte, wie Normen oder Verordnungen, gegeben. Darüber hinaus werden die auf den Maßnahmenblättern betrachteten Aspekte vertieft beschrieben. Somit gliedert sich der Leitfaden im Wesentlichen in zwei Teile: Zum einen entsteht eine Art Katalog, in dem für bestimmte Bauteile Modernisierungsempfehlungen kompakt und übersichtlich abgebildet werden, des Weiteren ein vorangestellter, allgemeiner Teil, in dem diese Empfehlungen näher erläutert und inhaltlich vertieft werden.

Im Vorfeld wurde definiert, dass sich die Modernisierungsempfehlungen nicht ausschließlich auf die Fassade beziehen, sondern darüber hinaus auch andere Teilbereiche der Gebäudehüllfläche wie beispielsweise Dach oder Kellerdecke in die Betrachtungen einbezogen werden sollen. Auch anlagentechnische Modernisierungshinweise sollen Berücksichtigung finden. Der Schwerpunkt des Forschungsprojektes liegt jedoch eindeutig im Bereich der Fassade.

1 Einleitung

Durch energetische Sanierungsmaßnahmen lässt sich der Energiebedarf im Gebäudebestand erheblich reduzieren. Aufgrund der langen Nutzungsdauer von Gebäuden und des nur geringen Neubauwachstums kommt der Altbausanierung dabei eine besondere Bedeutung zu. Ein großes Einsparpotenzial liegt im Nichtwohngebäudebereich, denn etwa zwei Drittel des derzeitigen Bestandes wurde vor 1978 errichtet und weist dementsprechend einen hohen Sanierungsbedarf auf.[1]

Wesentliches Kriterium bildet die Sanierung der Fassaden, die heutzutage nicht nur einer Vielzahl ständig wachsender bauphysikalischer und energetischer Anforderungen gerecht werden müssen, sondern besonders im Nichtwohngebäudebereich auch einen hohen konstruktiven und ästhetischen Anspruch erfüllen sollten. Bei einer Fassadensanierung gilt es, diese Anforderungen zusammenzufassen und ganzheitlich zu betrachten.

Die Betrachtung von Nichtwohngebäuden ist durch die Vielfalt einsetzbarer Fassadensysteme, die unterschiedlichen Gebäudenutzungen sowie die innerhalb der Fassadensysteme zu differenzierenden Fassadentypen äußerst komplex. Daraus entsteht die Notwendigkeit, in einem ersten Schritt eine Beschränkung auf Fälle vorzunehmen, die systematisierbar und hinsichtlich typischer Lösungen verallgemeinerbar sind. Mit diesem Fokus kann später eine Erweiterung der vorgesehenen Untersuchung vorgenommen werden. Die Umsetzung erfolgt durch eine Identifizierung der für das Forschungsvorhaben relevanten Nichtwohngebäudetypen.

Grundlage hierfür ist eine ausreichend gute Kenntnis bezüglich des existierenden Nichtwohngebäudebestands in Deutschland. Der Nichtwohngebäudebereich ist charakterisiert durch eine große Anzahl an unterschiedlichen Gebäudetypen mit jeweils spezifischen funktionalen, morphologischen und konstruktiven Eigenschaften. Darüber hinaus unterscheiden sich die Gebäude aufgrund ihres Alters und der in der jeweiligen Zeit verwendeten Baukonstruktionen.

Für den Wohngebäudebestand ist bereits eine Anzahl an statistischen Erhebungen und Typologien vorhanden, durch die sich charakteristische Besonderheiten hinreichend genau abbilden lassen. Im Gegensatz dazu liegt für den Nichtwohngebäudebestand derzeit keine vergleichbare Datenbasis vor. Dies betrifft nicht nur energetische Merkmale, sondern auch grundlegende Strukturdaten. Es sind keine regelmäßigen statistischen Erhebungen vorhanden, weshalb auch sehr grundlegende Parameter wie beispielsweise Anzahl, Gebäudegröße oder Baualter nur schwer zu erfassen sind.

[1] Rußig, V. (1999); „Gebäudebestand in Westeuropa: Fast 17 Mrd. m^2 Wohn- und Nutzfläche; Ausgewählte Ergebnisse der Studie „EUROPARC - Der Bestand an Gebäuden in Europa“

1.1 Adressaten

Grundsätzlich richtet sich der erarbeitete Leitfaden an alle Anwender, die sich auf Planungsebene mit der Verbesserung der Qualität von Fassaden an Nichtwohngebäuden befassen. Konkret können die Maßnahmenblätter Energieausweisersstellern, die häufig keine Fachingenieure der TGA-Planung oder der Bauphysik sind, eine Hilfestellung bei der Auswahl und Beschreibung sinnvoller und kostengünstiger Sanierungsmaßnahmen bieten. Auf diese Weise bekommen Energieausweisersteller die Möglichkeiten und Potenziale, die fassadenbezogene Maßnahmen bieten, aufgezeigt und können diese weitervermitteln.

Darüber hinaus bietet der Leitfaden aber auch eine weiterführende Informationsgrundlage für Empfänger von Energieausweisen. Die Maßnahmenblätter des Katalogs könnten dem Energieausweis beigelegt oder als Textbausteine in Energieberatungsberichte eingefügt werden und diesen damit deutlich aufwerten. Auch ließe sich auf diese Weise die Motivation zur tatsächlichen Durchführung der Maßnahmen wesentlich steigern und die Entscheidungsfindung positiv beeinflussen. Die Maßnahmenblätter könnten somit ausschlaggebend für die Entscheidung zu einer umfassenden Sanierung sein und als Basis für eine konkrete Planung herangezogen werden. Sie richten sich damit auch an Investoren und Bauherren.

1.2 Ausgangslage

Für den Wohngebäudebereich wurde bereits im Jahr 2006 ein Forschungsprojekt zu der Thematik bearbeitet. Dieses Projekt wurde an der TU München durchgeführt und ist bereits abgeschlossen. [2]

Bei Nichtwohngebäuden können, unter anderem bezugnehmend auf die übrigen Teile der Gebäudehülle, wie beispielsweise Dach oder Kellerdecke, einige der für den Wohnungsbau erarbeiteten Modernisierungsempfehlungen adaptiert werden, insgesamt und besonders im Bereich der Fassade ist jedoch eine Anpassung und deutliche Ausweitung erforderlich. Dies vor allem vor dem Hintergrund, dass Gebäude und Baukonstruktion oftmals deutlich abweichend von denen im Wohngebäudebereich sind und darüber hinaus die Energiebilanz um die Komponenten Beleuchtung, Lüftung und Gebäudekühlung erweitert ist.

1.2.1 Unterschiede zum Wohngebäudebereich

Laut Definition des statistischen Bundesamtes sind Nichtwohngebäude Gebäude, die gemessen an ihrer Gesamtnutzfläche überwiegend für Nichtwohnzwecke bestimmt sind. Zu Nichtwohngebäuden zählen beispielsweise Anstaltsgebäude, Bü-

[2] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.) (2010): „Modernisierungsempfehlungen im Rahmen der Ausstellung eines Energieausweises - Energetische, baukonstruktive, bauphysikalische und wirtschaftliche Bewertung von Modernisierungsmaßnahmen“

ro- und Verwaltungsgebäude, landwirtschaftliche Betriebsgebäude und nicht-landwirtschaftliche Betriebsgebäude wie Hotels und dergleichen.[3]

Während dem Wohngebäudebereich eine einheitliche Nutzung zugrunde gelegt werden kann, existiert für Nichtwohngebäude eine Vielzahl an unterschiedlichen Nutzungen, die sich teilweise stark voneinander unterscheiden. Daraus resultieren unterschiedliche Anforderungen an den Schall-, Brand-, oder Feuchteschutz. Während z.B. in einem Wohngebäude die interne Feuchtebelastung durch Kochen oder Duschen teilweise hohe Spitzen erreicht, ist dies in einem Gebäude des Typs „Büro“ üblicherweise nicht der Fall. Im Fall einer Innendämmmaßnahme bei einem Bürogebäude sind dementsprechend andere Grundvoraussetzungen bezüglich des Feuchteschutzes zu betrachten.

Auch hinsichtlich der Berechnungsverfahren zur energetischen Bewertung der Gebäude sind Unterscheidungen zu treffen. Die energetische Bilanzierung von Wohngebäuden erfolgt in der Regel entweder nach den Normenreihen DIN V 4108 „Wärmeschutz im Hochbau“ und 4701 „Regeln zur Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden“ oder sie werden unter Anwendung der DIN V 18599 als so genannte „1-Zonen-Modelle“ erfasst. Diese Vorgehensweise ist bei der Berechnung des Heizenergiebedarfs im Wohngebäudebestand üblich und die Ergebnisse in der Regel auch ausreichend genau.

Das Berechnungsverfahren für Nichtwohngebäude erweist sich dahingegen als komplexer. Die Berechnungsmethodik der DIN V 18599 sieht für Nichtwohngebäude eine detaillierte Zonierung der Gebäude nach unterschiedlichen Nutzungen vor. Diese Aufteilung ist notwendig, um die unterschiedlichen Energieaufwendungen und Konditionierungsbedingungen von Nichtwohngebäuden abbilden zu können. Es liegen nämlich vielfach deutlich voneinander abweichende Nutzungsrandbedingungen in einem Gebäude vor und zur thermischen Konditionierung kommen unterschiedliche Anlagen zum Einsatz. Diese Versorgungseinrichtungen eines Gebäudes können von den Zonen abweichende Versorgungsbereiche umfassen und sich dementsprechend über mehrere Zonen erstrecken, eine Zone kann aber auch mehrere Versorgungsbereiche beinhalten.

Des Weiteren kann der elektrische Energieeinsatz in Nichtwohngebäuden einen großen Teil der Gesamtenergiebilanz ausmachen. Aus diesem Grund wird im Nichtwohngebäudebereich die Bilanzierung des Energiebedarfs um die Bereiche Kühlung und Beleuchtung erweitert. Die für die unterschiedlichen Konditionierungen zu bilanzierenden Energieaufwendungen stehen teilweise in gegenseitiger Wechselbeziehung zueinander. Werden bei einem Gebäude beispielsweise vorhandenen Fenster mit Klarglas durch solche mit Sonnenschutzglas mit geringerem Gesamtenergiedurchlassgrad ausgetauscht, wirkt sich diese Maßnahme zwar positiv auf den Kühlenergiebedarf aus, der Bedarf für Heizung und Beleuchtung steigt jedoch an, wodurch unter Umständen nur geringfügige Gesamteinsparungen erzielt werden können.

[3] Statistisches Bundesamt (2010);„Statistisches Jahrbuch 2010. Für die Bundesrepublik Deutschland“

1.2.2 Einfluss der Gebäudenutzung auf den Energiebedarf

Durch die im Nichtwohngebäudebereich vorhandene hohe Nutzungsvielfalt entwickelt sich die Notwendigkeit, die zu untersuchenden Nichtwohngebäudetypen hinsichtlich ihrer Nutzung zu differenzieren. Durch die unterschiedlichen Nutzungen ergeben sich unterschiedliche Aufteilungen im Energiebedarf. Daraus resultieren je nach Gebäudetyp unterschiedliche Möglichkeiten zur sinnvollen Energieeinsparung. Je nach Nutzung existieren auch unterschiedliche Tendenzen zur Fassadenausführung selbst. Während beispielsweise für Bürogebäude eines bestimmten Baualters ein hoher Grad an Transparenz als repräsentatives Fassadenmerkmal aufgeführt werden könnte, ist bei einem Gebäude gleichen Baualters in dem sich ein Einkaufszentrum oder Kaufhaus befindet eher ein geringer Fensterflächenanteil festzustellen.

Über die Art der Gebäudenutzung kann eine erste Einschätzung und Zuordnung der wesentlichen energetischen Verbrauchsgrößen erfolgen. Durch Vergleiche typischer Kennwerte innerhalb der jeweiligen Nutzung lassen sich spezifische Einsparpotenziale ableiten. Das Nutzerverhalten kann in den entsprechenden Gebäudetypen als typisch gewertet werden, wodurch weitere Ansätze für Einsparoptionen ableitbar sind. Schüler beispielsweise öffnen nach dem Unterricht die Fenster und versäumen es häufig, diese nach einer angemessenen Lüftungszeit wieder zu schließen. Besonders in den Wintermonaten resultieren daraus hohe Lüftungswärmeverluste, weshalb sich Lüftungsgeräte und –anlagen als Sanierungsmaßnahme bei diesem Gebäudetyp anbieten. Dadurch kann der Luftvolumenstrom gezielt gesteuert und somit die Verluste reduziert werden.

Da im Rahmen der Forschungsarbeit nicht der gesamte Nichtwohngebäudebestand abgebildet werden kann, ist es die Aufgabe, repräsentative und sanierungsrelevante Gebäudenutzungen zu identifizieren.

1.2.3 Berechnung des Energieeinsparpotenzials

Die Sanierungsempfehlungen tragen zur Reduzierung des Energiebedarfs der Gebäude bei und sollen zudem auch den Anspruch der Wirtschaftlichkeit erfüllen, wodurch sich die Notwendigkeit zur Berechnung der möglichen Energieeinsparung ergibt.

Rechengrundlage für die Ermittlung des Energiebedarfs eines Nichtwohngebäudes stellt die Berechnung nach DIN V 18599 dar. Durch dieses Berechnungsverfahren lassen sich detaillierte Ergebnisse zum Energiebedarf eines Gebäudes abbilden. Jedoch ist für die energetische Bilanzierung von Nichtwohngebäuden in der Regel eine umfangreiche Zonierung und damit verbunden eine zeitaufwändige Ermittlung der Hüllflächen erforderlich. Eine weitere Herausforderung stellt die Bestimmung der für die Berechnung notwendigen Daten dar.

Es gilt daher eine Bewertungsmethodik zu entwickeln, mit der die für eine Sanierungsmaßnahme resultierende Energieeinsparung mit moderatem Aufwand ermittelt werden kann.

2 Bearbeitung und Festlegungen

Die Recherchen wurden auf unterschiedlichen Ebenen durchgeführt und umfassen dabei verschiedene Themengebiete. Neben Literatur- und Internetrecherchen wurden auch Verbände in Form von Telefoninterviews kontaktiert. Parallel wurde ein Arbeitsgruppentreffen vorbereitet und am 31.01.2012 im Zentrum für Umweltbewusstes Bauen in Kassel durchgeführt.

2.1 Ergebnisse der Literaturrecherche

Während Informationen zu den festgelegten Maßnahmen von Wohngebäuden bereits hausintern bzw. aus eigenen Erfahrungen zum großen Teil zur Verfügung stehen, ist die Ermittlung von Angaben zum Nichtwohngebäudebestand mit einem erheblichen Rechercheaufwand verbunden, denn besonders für Nichtwohngebäude ist die allgemeine Datenlage sehr gering. Grundlegende Parameter wie Gebäudeanzahl oder –größe sind nur schwer zu ermitteln. Die vorhandenen Ansätze für eine Typisierung im Nichtwohngebäudebereich sind meist unvollständig, des Weiteren existiert keine allgemein anerkannte Systematik zur Bestimmung einer Typologie. Die mengenmäßige Abschätzung des Nichtwohngebäudebestands ist jedoch sinnvoll für die Bestimmung der für die Untersuchung relevanten Gebäudetypen. Darüber hinaus werden Informationen zu Baualter und repräsentativen Fassadenkonstruktionen benötigt.

Die Literaturrecherche hinsichtlich der notwendigen Identifizierung der für das Forschungsprojekt relevanten Nichtwohngebäudetypen fand auf zwei Ebenen statt. Zum einen sollten Angaben zur Anzahl und zum Baualter ermittelt werden, in zweiter Ebene wurde die Ermittlung typischer Verbräuche zur Bestimmung des Einsparpotenzials herangezogen.

2.1.1 Nichtwohngebäudebestand in Deutschland

Wie bereits erwähnt, ist die allgemeine Datenlage im Nichtwohngebäudebestand deutlich schlechter als im Wohngebäudebereich, dies vor allem vor dem Hintergrund, dass der Nichtwohngebäudebestand eine starke Heterogenität besitzt. Da es nicht möglich ist, im Rahmen dieser Forschungsarbeit eine Typologie für den Nichtwohngebäudebestand zu entwickeln, ist es notwendig, sich an vorhandenen Systematisierungen zu orientieren.

Das statistische Bundesamt besitzt keine gesicherten Angaben zum gesamten Nichtwohngebäudebestand. Lediglich Baugenehmigungen und Baufertigstellungen werden differenziert nach Gebäudenutzung erfasst. Dabei wird zwischen den drei Hauptkategorien Büro- und Verwaltungsgebäude sowie landwirtschaftliche und nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude unterschieden. Die nichtlandwirtschaftlichen Betriebsgebäude werden weiterhin nach Fabrik- und Werkstattgebäude, Handels- und Lagergebäude, Hotels und Gaststätten sowie sonstige Nichtwohngebäude differenziert. Diese Angaben spiegeln jedoch ledig-

lich die Neubautätigkeit wider und sind daher für weitere Betrachtungen vorerst nicht interessant.

In den verschiedenen Kapiteln des statistischen Jahrbuchs 2010 werden des Weiteren vereinzelt Angaben zur bestehenden Anzahl von Gebäuden und Unternehmen aus den Bereichen Bildung und Wissenschaft, Kultur, Freizeit und Sport, Gesundheitswesen, Land- und Forstwirtschaft, produzierendes Gewerbe sowie Gastgewerbe abgebildet. Demnach lassen sich für bestimmte Gebäudetypen Angaben zur Gebäudeanzahl ermitteln. Eine Differenzierung nach Baualtern ist nicht vorhanden.[4]

Erste Ansätze für eine Typologie von Nichtwohngebäuden wurden im Rahmen einer in den 90er Jahren durchgeführten IKARUS-Studie erarbeitet. Insgesamt sind in dieser Forschungsarbeit 21 repräsentative Typgebäude dargestellt, die zusätzlich nach vier Baualtersklassen und Gebäudefläche differenziert werden. Eine nutzungsspezifische Differenzierung der Gebäude findet jedoch nicht statt, die Gebäude werden nach Geometrie und Größe unterschieden und können dementsprechend unterschiedliche Nutzungen beinhalten. Auch werden keine genauen Angaben zu Fassadenkonstruktionen abgebildet, es wird lediglich eine energiebezogene Bewertung der Baukonstruktionen anhand repräsentativer Wärmedurchgangskoeffizienten vorgenommen.[5]

Ein für die Untersuchung relevantes Forschungsprojekt wurde kürzlich vom BBSR veröffentlicht. Themenschwerpunkt des Projektes war die Identifizierung typischer Vertreter einzelner Gebäudearten, die durch eine Reihe charakteristischer Merkmale beschrieben werden. Es entstand eine nutzungsorientierte Typologie mit 11 Hauptkategorien sowie Unterkategorien der Gebäudenutzung. Des Weiteren findet eine Abschätzung des Mengengerüsts der bestehenden Nichtwohngebäude statt. Dabei steht insbesondere die Entwicklung und Darstellung geeigneter Methoden zur Bestandsschätzung im Fokus der Arbeit. Das aus verschiedenen Quellen verfügbare Zahlenmaterial ist jedoch sehr lückenhaft. Auch eine Differenzierung der Außenwandkonstruktionen wird nicht berücksichtigt. Hier findet ebenfalls die Angabe eines pauschalen, für die jeweilige Bauzeit typischen Wärmedurchgangskoeffizienten statt.[6]

Im Rahmen einer Studie des Instituts für Wohnen und Umwelt sollen derzeit Ansätze für eine Typologie im Nichtwohngebäudebereich entwickelt werden. Dabei sollen neben der Gebäudehülle auch anlagentechnische Ausprägungen von Wärmeversorgung und Beleuchtung dargestellt werden. Diese Studie ist derzeit noch nicht veröffentlicht.[7]

[4] Statistisches Bundesamt (2010) „Statistisches Jahrbuch 2010. Für die Bundesrepublik Deutschland“
[5] Gierga, M.; Erhorn, H. (1993); „Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland“
[6] Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (2011); „Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland“
[7] Institut für Wohnen und Umwelt (bislang nicht veröffentlicht); „Typologiegestützte Analyseinstrumente für die energetische Bewertung bestehender Nichtwohngebäude“

2.1.2 Verbrauchsstrukturen von Nichtwohngebäuden

Um vorhandene Einsparpotenziale im Nichtwohngebäudebereich aufdecken zu können, ist es sinnvoll, typische Energieverbräuche unterschiedlicher Gebäudenutzungen zu analysieren. Dabei wird zudem deutlich, ob das entscheidende Sanierungspotenzial im Bereich der Gebäudehülle liegt oder ob die maßgeblichen Energieverbraucher etwa in den Prozessabläufen oder der Kunstlichtversorgung zu suchen sind.

Energiekennwerte können sowohl auf Basis von Bedarfsberechnungen als auch basierend auf Verbrauchsanalysen erstellt werden. Bei einer bedarfsorientierten Betrachtung wird ausgehend von Standardnutzungsprofilen der zu erwartende Energiebedarf berechnet. Rechengrundlage für die Bedarfsschätzung bildet die DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden“. Bei der verbrauchsorientierten Betrachtung erfolgt die energetische Bewertung auf Grundlage der gemessenen Energiemenge.

Für die Bearbeitung des Forschungsprojekts wurden unter anderem folgende Studien und Papiere herangezogen:

- Institute for Building Operations Research (2007); Bauwerkszuordnungskatalog
- BMVBS, BBSR, BBR (2009); Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden
- ages GmbH (2005); Verbrauchskennwerte 2005
- Verein Deutscher Ingenieure (2008); VDI 3807: Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude

In den unterschiedlichen Studien zu Energiekennwerten wird jedoch nicht nach Alter der Gebäude differenziert. Bei den Kennwerten handelt es sich vielmehr um kumulierte Durchschnittswerte unterschiedlichen Baualters.

2.2 Gliederung, Struktur und Festlegungen bezüglich des Leitfadens

Bezüglich der Gliederung und Inhalte des Leitfadens ist eine klare Zweitteilung festgelegt worden. Es wurde daraufhin ein allgemeiner Teil erarbeitet, in dem eine themenbezogene Sortierung sattfindet. Hier bietet sich auch die Möglichkeit, auf spezifische bauphysikalische Fragestellungen und Besonderheiten einzugehen. Des Weiteren wird auf die Gebäudetypen eingegangen, die nicht in Maßnahmenblättern detailliert behandelt werden können.

Der zweite Teil des Leitfadens wurde in Form konkreter Maßnahmenblätter strukturiert. Diese sollen als Hilfestellung sowohl im vorgeschalteten Prozess einer Sanierungsplanung als auch während dieser Phase als Orientierungshilfe dienen.

Dabei wird anhand von ausgewählten Gebäudetypen sowie diversen Ausführungsformen der Konstruktionen eine Vielzahl an sinnvollen Sanierungsvarianten angeboten, die auf die jeweilige Bausubstanz zugeschnitten sind. Die vorgestellten Maßnahmen sollen möglichst konkret, evtl. auch an einem Beispiel benannt und beschrieben werden, um eine bessere Zugänglichkeit für den Nutzer zu schaffen.

Die Hauptzielgruppen, an die sich der Leitfaden richtet, sind zwei Akteurskreise. Für Investoren dienen die kompakten Maßnahmenblätter als Information und Hintergrund, wenn eine Sanierungsentscheidung ansteht. Der ausführliche, erläuternde Teil kann für Investoren zwar auch ergänzende Informationen beinhalten, ist aber eher auf den Kreis der Planer und Energieberater ausgerichtet, um auf mögliche Sonderpunkte hinzuweisen und für bestimmte Details zu sensibilisieren.

Als Vertreter der als relevant zu bewertenden Nutzungen wurden Bürogebäude, Schulen, Sporthallen und Hotels untersucht und im Leitfaden abgebildet. Es werden neben den ausgewählten Gebäudetypen und deren Nutzungsspezifika auch weitere relevante, jedoch nicht im Detail betrachtete Aspekte aller relevanten Nichtwohngebäudetypen im allgemein erläuternden Teil des Leitfadens beschrieben.

Bezüglich der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Zusammenhang mit den Sanierungsempfehlungen wurde eine beschreibenden Methodik entwicklet, mit der die Sanierungsempfehlungen bewertet werden können, sofern entsprechende Angaben der realen Maßnahmen vorliegen.

3 Identifizierung der Nichtwohngebäudetypen

Für die Identifizierung der relevanten Nichtwohngebäudetypen spielen folgende Auswahlkriterien eine wesentliche Rolle.

- Anteil am Gesamtgebäudebestand: Ist der Gebäudetyp in ausreichend großem Umfang vertreten, um als repräsentative bzw. relevante Nichtwohngebäude-Nutzung zu gelten?

- Altersmäßige Zusammensetzung: Ist eine Differenzierung nach Baualtersklassen möglich? Gibt es dazu hinreichende Angaben?

- Allgemeines Sanierungspotenzial: Wie hoch ist der durchschnittliche Energieverbrauch der jeweiligen Gebäudenutzung? Sind Einsparpotenziale in relevanten Größenordnungen vorhanden?

- Fassadenbezogenes Sanierungspotenzial: Besteht die Möglichkeit zur fassadenbezogenen Sanierung? Eventuell liegen die großen Verbrauchsverursacher in einem anderen Bereich, wie bspw. im Bereich „Einzelhan-

del/Einkaufszentren“, bei dem der Stromverbrauch für Beleuchtung, Lüftung und ggfs. Klimatisierung der entscheidende Parameter ist.

- Vorbildfunktion: Die Sanierung von öffentlichen Gebäuden (z.B. Schulen) erzeugen eine bestimmte Relevanz durch die öffentliche Wahrnehmung und die Ansprache der wichtigen Zielgruppe der Kinder und Jugndlichen.

Für eine vertiefte Recherche sowie die Untersuchung von gebäudespezifischen Nutzungsmerkmalen wurden folgende Nichtwohngebäudetypen aufgrund der aufgeführten Aspekte als relevant identifiziert und festgelegt:

- **Bürogebäude:** hoher Anteil am Gesamtgebäudebestand, allgemeine Relevanz, Sanierungspotenzial (fassadenbezogen)
- **Schulen:** stehen im Interesse der Öffentlichkeit; politisches Vorbild; Sanierungspotenzial (fassadenbezogen); derzeit große Relevanz im Bereich Sanierung (dena: „Niedrigenergiehaus im Bestand für Schulen“; enob: „Energieeffiziente Schule“)
- **Sporthallen:** ähnliche Motivation wie bei Schulen
- **Hotels:** Sanierungspotenzial von großem Interesse für die Gebäudenutzer/Betreiber; relevanter Sektor in der öffentlichen Wahrnehmung

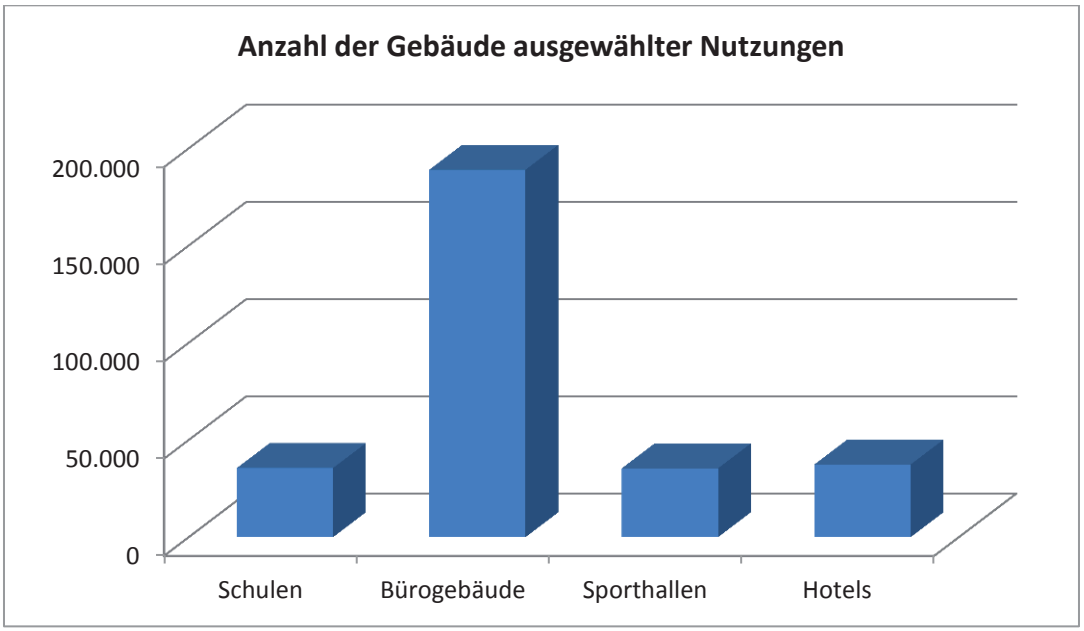


Abb. 1: Anzahl der Gebäude ausgewählter Nutzungen (Quelle: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (2011); „Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland“; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.))

Abbildung 1 zeigt die Verteilung und die Anzahl der für den Leitfaden ausgewählten Nichtwohngebäudetypen. Es ist erkennbar, dass die Bürogebäude in dieser Gruppe den größten Anteil einnehmen. Hinsichtlich der fassadenbezogenen Sanierungspotenziale ist zudem zu berücksichtigen, dass auch diese von besonderer Relevanz sind. Trotz der deutlich geringeren Anzahl, sind Schulen, Sporthal-

len und Hotels aus den zuvor genannten Gründen als wichtige Gebäudetypen einzustufen, für die jetzt und zukünftig ein hohes Sanierungspotenzial unter besonderer Berücksichtigung der Fassade zu erkennen ist.

Aufgrund ihres mengenmäßigen Anteils am Nichtwohngebäudebestand kamen auch Industriegebäude und Gebäude des Bereichs „Handel“ für den Leitfaden grundsätzlich in Frage.

- **Fabrikgebäude/Industrie** (ca. 355.000)
- **Handel** (Kaufhaus, Lebensmittel, Non-Food) (ca. 634.000)

Mit Blick auf die Relevanz für einen Sanierungsleitfaden, der sich mit der Modernisierung der Gebäudehülle befasst, wurde jedoch entschieden, diese Gebäudetypen für den hier entwickelten Leitfaden nicht detaillierter zu betrachten. Es sollte jedoch zu einem späteren Zeitpunkt das Sanierungspotenzial unter besonderer Berücksichtigung der Fassade hinterfragt werden, um ggfs. in einem Folgeprojekt diese Nutzungen in einem fortgeschriebenen Leitfaden aufzunehmen.

Tabelle 1: Anzahl und prozentuale Verteilung der Nutzungstypen am Gesamtbestand der Nichtwohngebäude.

	Anzahl der Gebäude	prozentualer Anteil am Gesamtbestand
Nutzung		
Schule	35.566	3%
Büro	189.000	15%
Sporthallen	35.409	3%
Hotels	37.386	3%
Fabrikgebäude/ Industrie	355.000	28%
Handel	634.000	49%
Gesamt	1.286.361	100%

Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung des deutschen Nichtwohngebäudebestandes nach Anzahl der Gebäude entsprechender Nutzung wie sie in u.g. Quelle 2011 dargestellt wurde. [8]

[8] Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (2011); „Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland“

3.1 Beschreibung der nutzungsspezifischen Merkmale

Es erfolgt eine Beschreibung der nutzungsspezifischen Merkmale der ausgewählten Gebäudetypen, die erforderlich ist, um die nutzungsabhängigen Besonderheiten und Randbedingungen aufzuzeigen. Daraus lassen sich dann Rückschlüsse ziehen, welche Modernisierungsansätze zielführend sein können.

3.1.1 Bürogebäude

Besonders im Bereich Büro existieren viele Gebäude, die den heutigen Anforderungen nicht mehr entsprechen, aufgrund ihrer günstigen Lage jedoch das Entwicklungspotenzial für eine zukünftige Nutzung enthalten.[9]

In Bürogebäuden trägt in der Regel der durch die Beleuchtung verursachte Stromverbrauch einen maßgeblichen Anteil am Gesamtenergieverbrauch bei. Die Entwicklung von auf Bürogebäude zugeschnittenen Sanierungsempfehlungen sollte dementsprechend neben der Verbesserung des Wärmeschutzes auch die Erhöhung der visuellen Behaglichkeit sowie die ausreichende Versorgung mit Tageslicht als Sanierungsziele enthalten. Des Weiteren weisen Bürogebäude ohne Klimatisierung häufig hohe sommerliche Temperaturen auf, klimatisierte Gebäude kompensieren diese durch einen für die aktive Kühlung benötigten hohen Strombedarf. Folglich sollten für den Nutzungstyp „Büro“ Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes abgebildet werden. Ziel sollte dabei der Verzicht auf eine aktive Kühlung sein.

Eine effektive Maßnahme zur Reduzierung der Raumtemperaturen kann die Installation eines außenliegenden Sonnenschutzes darstellen. Diese würde den Kühlbedarf des Gebäudes reduzieren, der Beleuchtungsbedarf nähme jedoch zu. An dieser Stelle werden die Abhängigkeit der verschiedenen Energieaufwände zueinander und die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung deutlich.

Bei der anschließenden Betrachtung der Fassadenkonstruktionen muss im Bürobereich zwischen massiven Konstruktionen, Skelettbaukonstruktionen und Leichtbaukonstruktionen differenziert werden. Dabei muss der teilweise stark voneinander abweichende Fensterflächenanteil der unterschiedlichen Fassadentypen berücksichtigt werden. Besonders Leichtbaukonstruktionen können hohe Verglasungsanteile aufweisen.

3.1.2 Schulen

Für Schulen muss bei der Entwicklung von Sanierungsempfehlungen die Thematik der Lüftung besondere Beachtung finden, denn eine ausreichende Versorgung mit Frischluft steigert die Konzentrationsfähigkeit und ist notwendig für einen guten Lernerfolg.

[9] Ebbert, T. (2010); „RE-FACE. Refurbishment Strategies for the technical improvement of office facades“

Messungen in Klassenzimmern haben ergeben, dass die CO_2-Konzentration bei einer normalen Fensterlüftung den empfohlenen Wert schon nach kurzer Zeit übersteigt. Durch die energetische Sanierung von Fassade und Fenstern wird die Dichtigkeit und Wärmedämmung der Gebäudehülle maßgeblich verbessert, wodurch ein ausreichender Luftwechsel unverzichtbar wird. Die DIN EN 13779 sieht in Stadtzentren als Standardwert für eine niedrige Raumluftqualität eine CO_2-Konzentration von 1200 ppm über dem Gehalt der Außenluft vor. Höhere Konzentrationen führen zu Leistungsabfall, Kopfschmerzen sowie Unwohlsein.[10]

Eine manuelle Lüftung über die Fenster reicht aufgrund des geringen Luftwechsels während der Heizperiode in der Regel nicht mehr aus. Da Schulräume während der Nutzung sehr intensiv belegt sind und während der Nichtnutzungszeiten in der Regel leer stehen, bietet sich als Sanierungsmaßnahme eine nutzungsabhängige Steuerung der Belüftung an. Eine nachträgliche Lüftung könnte durch dezentrale Lüftungsgeräte in den Klassenräumen realisiert werden. Diese könnte die Luftqualität nachhaltig verbessern und im Falle einer Ausstattung mit Wärmerückgewinnung den Energieverbrauch senken. Zudem könnten durch Lüftungsgeräte die, bedingt durch die Belegungsdichte der Klassenräume oder nasse Kleidung in den Wintermonaten, teilweise hohen Feuchtigkeitsbelastungen ausgleichen und somit die hygienischen Anforderungen erfüllt werden.

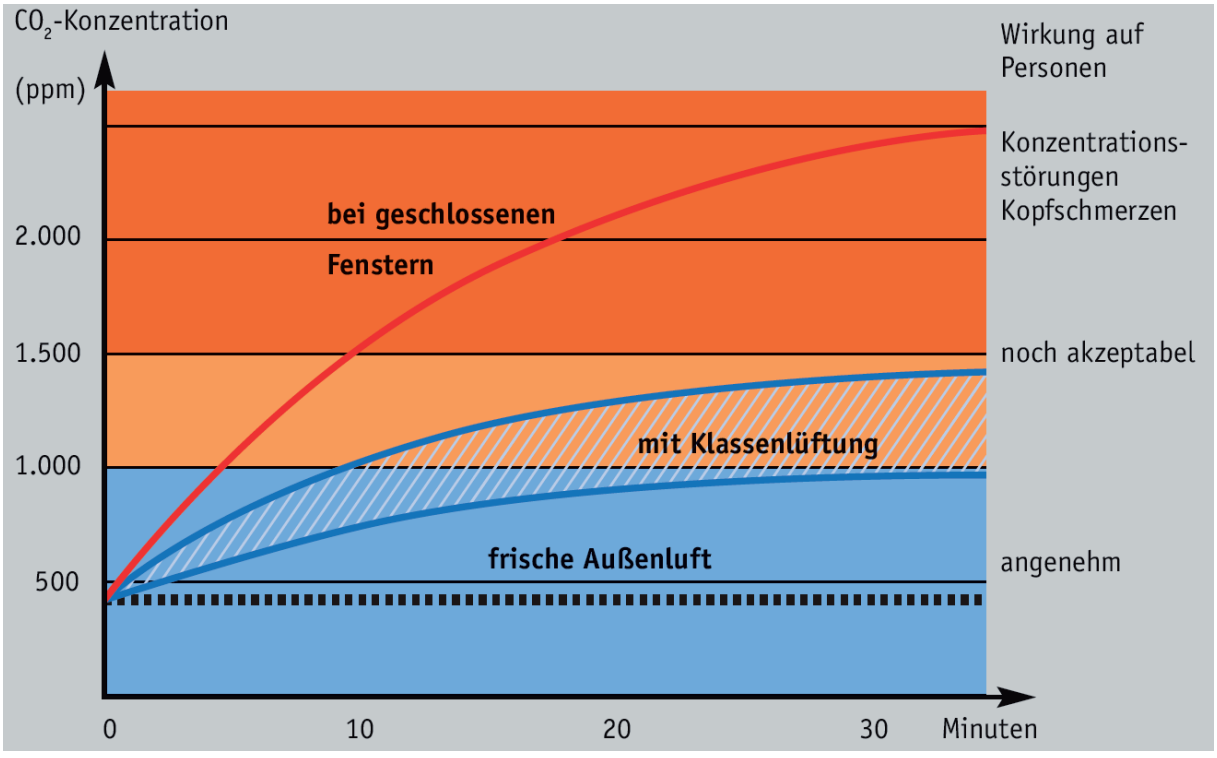


Abb. 2: Anstieg der CO_2-Konzentration in Klassenräumen (Quelle: TROX)

[10] TROX GmbH (2010); „Luft zum Lernen. TROX SCHOOLAIR – Energieeffiziente Lüftungslösungen für Schulen“

Ähnlich wie bei den Bürogebäuden ist ein weiterer wichtiger Planungsaspekt bei der Entwicklung von Sanierungsmaßnahmen im Schulbereich die ausreichende Versorgung mit Tageslicht, damit der Beleuchtungsbedarf reduziert werden kann.

Ebenso notwendig ist der ausreichende Schutz vor Blendung. Tageslichtlenkende Systeme ermöglichen es, sowohl eine ausreichende Tageslichtversorgung in der Raumtiefe, als auch den Schutz vor Blendung von fensternahen Arbeitsplätzen zu gewährleisten. Die visuelle Behaglichkeit ist ein wesentlicher Faktor für die Aufmerksamkeit des Lernenden.

Im Gegensatz zu den Bürogebäuden weist der Gebäudetyp Schule eine höhere Tendenz zur massiven Bauweise auf, im Gebäudebestand sind aber auch Skelettkonstruktionen anzutreffen. In den 70er-Jahren wurden viele Schulgebäude in Stahlbetonbauweise erstellt.

Da diese Gebäude heutzutage oft auch den ästhetischen Ansprüchen nicht mehr gerecht werden können, ist bei einer Sanierung demzufolge auch die Verbesserung des Erscheinungsbildes des Gebäudes anzustreben. Auch sollten für die Nutzungsgruppe Schule unterschiedliche Glasanteile in die Betrachtungen einbezogen werden. Jedoch ist der Glasanteil im Schulbereich vermutlich deutlich homogener, als es bei Bürogebäuden der Fall ist.

3.1.3 Sportstätten

Besonders im Bereich der Sportstätten herrscht ein deutlicher Sanierungsbedarf. Als Ursachen können, neben natürlichen alters- und nutzungsbedingtem Verschleiß sowie Umwelteinflüssen, vor allen Dingen die finanzielle Mittelknappheit der Gemeinden und Städte angeführt werden. Die bundeseinheitliche Sportstättenstatistik aus dem Jahr 2002 enthält Angaben zu den meisten erhobenen Sportstättentypen. Aus den Angaben geht hervor, dass circa 70% der Anlagen in den neuen Ländern und circa 40% derer in den alten Ländern für sanierungsbedürftig gehalten werden. Dieser Umstand gefährde die Funktionsfähigkeit und Attraktivität des Anlagenbestandes und werde damit immer mehr zu einem Engpassfaktor der Sportentwicklung.[11]

Im Bereich der Sportstätten ist eine hohe Nutzungsvielfalt vorhanden, wobei sich im Rahmen des Forschungsprojekts lediglich auf Sporthallen konzentriert werden soll, da diese am gesamten Sportstättenbestand einen großen Anteil besitzen.

Des Weiteren sind bei Sporthallen die Kommunen als Betreiber im Vergleich zu anderen Anlagentypen besonders dominant, wodurch auch ein starkes politisches Interesse der Sanierung dieser Gebäudenutzung besteht.

Betrachtet man die einzelnen Hallentypen, so lässt sich laut Sportstättenstatistik feststellen, dass sich der große Sanierungsbedarf vor allem auf die kleineren Hal-

[11] Deutscher Sportbund (2002); „Sportstättenstatistik der Länder“

lentypen konzentriert, während er bei größeren Sporthallen (ab 22m x 44m) deutlich geringer ist.

Im Gegensatz zu anderen Gebäudenutzungen ist der Fensterflächenanteil im Bereich der Sporthallen relativ gering, woraus ein hoher Bedarf für Kunstlicht resultiert. Dieser könnte durch eine angemessene Tageslichtnutzung reduziert werden.

3.1.4 Hotels

Hotels dienen dem temporären Aufenthalt und der Verpflegung von Gästen. Um dieses zu ermöglichen, benötigt ein Hotelbetrieb große Mengen an Energie, um in erster Linie den Komfortansprüchen der Gäste zu. Ein Großteil dieser Energie fließt in die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser. Einen entscheidenden Einfluss auf den Stromverbrauch eines Hotels hat neben dem Betrieb einer Küche oder eines Restaurants auch der Betrieb von Klima- und Lüftungsanlagen.

Trotz eines regelmäßigen Sanierungsrhythmus im Hotelbereich ist das Energieeinsparpotenzial groß, da der Schwerpunkt meist auf Maßnahmen gelegt wird, die den Komfort für den Gast steigern sollen. Das Thema der Energieeffizienz wird bei diesen Sanierungsmaßnahmen häufig als zweitrangig betrachtet. Dabei kann, besonders durch eine ganzheitliche Fassadensanierung, die Behaglichkeit des Gastes erheblich gesteigert werden. Unbehaglich niedrige raumseitige Oberflächentemperaturen und Zugluftерscheinungen, beispielsweise aufgrund undichter Fenster, können mit einer Fassadensanierung behoben werden.

Für Hotels wird es immer wichtiger sich am Markt von ihrer Konkurrenz zu unterscheiden. Um ein individuelles Image zu etablieren, könnten Sanierungen dazu genutzt werden, eine Corporate-Identity zu schaffen und sich im ressourcenschonenden Umgang mit Energie besonders zu positionieren. In diesem Zusammenhang spielt die Außenwirkung einer Fassade eine besondere Rolle und kann dazu dienen, dieses Image nach außen zu tragen. Besonders im Hotelbereich bietet es sich daher an, sofern die Architektur des Gebäudes dies zulässt, optisch auffällige Sanierungsmaßnahmen anzuwenden. Dies könnten beispielsweise, neben der Verbesserung des Wärme- oder Schallschutzes, die Erweiterungen der Funktionen der Fassade auf die aktive Energiegewinnung sein. Im Hotelbereich könnte sich, aufgrund des hohen Bedarfs für Raumwärme und Warmwasser, die Fassadenintegration von thermischen Solaranlagen anbieten.

3.1.5 Handel und Industrie

Aufgrund ihres mengenmäßigen Anteils am Gesamtgebäudebestand sollten Gebäudetypen der Nutzungen Handel und Industrie hinsichtlich ihres Einsparpotenzials im Bereich der Gebäudehülle untersucht werden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei diesen Gebäudetypen das zu erwartende hohe Sanierungspotenzial nicht in der Gebäudehülle, sondern in anderen Bereichen wie beispielsweise der Optimierung von Prozessabläufen oder der Reduzierung

des Kunstlichtbedarfs liegt. Diese Fragestellungen können und sollten in einer weiterführenden Betrachtung aufgegriffen werden.

4 Betrachtete Sanierungsmaßnahmen

Die folgende Auflistung zeigt eine Zusammenstellung der im Fassadenbereich möglichen Themenbereiche und Details, für die Sanierungsempfehlungen zielführend sind. Die Sortierung erfolgt themenbezogen und gibt einen Überblick zur Strukturierung und den inhaltlichen Schwerpunkten des allgemeinen Teils der Arbeit.

Winterlicher Wärmeschutz

- Innendämmung
- Potenziale innenliegender Folien mit Beschichtung
- Verwendung einer Vorsatzfassade
- Berücksichtigung vorhandener Anbauelemente bzgl. Wärmebrückenwirkung
- Betrachtung der übrigen baulichen Aspekte der Gebäudehüllfläche
- Wärmebrücken

Sommerlicher Wärmeschutz

- Lüftungskonzepte
- Potenziale von Sonnenschutzvorrichtungen

Thermische, visuelle und akustische Behaglichkeit

- Maßnahmen zur Verbesserung der Wärmedämmung, der Schalldämmung, der Tageslichtnutzung und der natürlichen Lüftung
- Blend- und Schallschutz in Büroräumen

Anlagentechnische Besonderheiten in Nichtwohngebäuden

- Dezentrale Lüftungsanlagen
- Integration dezentraler Systeme in die Gebäudeleittechnik
- Integration von Technik zur Nutzung erneuerbarer Energien für Beheizung und Klimatisierung
- Energiegewinnung über Fassaden
- Einflüsse auf die Kunstlichtversorgung
- Wechselwirkungen fassadennaher Wärmeübertragungssysteme
- Fassadenintegrierte Lüftungskonzepte

4.1 Grundlegende Sanierungsstrategien[12]

Die Entwicklung eines ganzheitlichen, auf die Gebäudenutzung abgestimmten Sanierungskonzeptes hängt u.a. von folgenden Vorüberlegungen bzw. Kriterien ab:

- Funktion: Welche zusätzlichen Anforderungen ergeben sich aus der Nutzung, die das Gebäude erfüllen muss?
- Konstruktion: Welche Teile der Gebäudehülle weisen alterungs- oder verschleißbedingte Schäden und Mängel auf oder haben ihre Lebensdauer überschritten?
- Wärmeschutz: Welche Anforderungen und Vorschriften müssen erfüllt werden?
- Gestalt: Zeigt das Gebäude Alterungsspuren, entspricht das Erscheinungsbild noch den Anforderungen?

Für die Fassadensanierung im Nichtwohngebäudebereich existieren im Wesentlichen zwei erste Lösungsansätze, die abhängig von der Fassadenkonstruktion und der Bauweise wie folgt zu unterscheiden sind:

4.1.1 Instandsetzung

Bei diesem Sanierungsansatz ist es das Ziel, die bestehenden Fassadenkomponenten so weit in Stand zu setzen, dass sie den heutigen Anforderungen an eine Gebäudehülle genügen. Zu den notwendigen Mindestmaßnahmen können in der Regel das Aufbringen von Wärmedämmung, der Austausch der Fenster sowie die Installation bzw. Erneuerung eines Sonnenschutzes zählen.

Im Vorfeld ist zu klären, ob der Zustand der einzelnen Fassadenkomponenten diesen Sanierungsansatz zulässt, denn es werden, beispielsweise durch das nachträgliche Aufbringen einer Wärmedämmung, zusätzliche Lasten erzeugt, die einen Einfluss auf die Statik der Konstruktion besitzen können.

4.1.2 Rückbau, Austausch und Neuerrichtung

Der Rückbau einer bestehenden Fassade bis zum Rohbau und das anschließende Errichten einer neuen Fassade sind in der Regel Maßnahmen im Rahmen einer ganzheitlichen Sanierung des gesamten Gebäudes als Reaktion auf Veränderungen der inneren Organisation bzw. Nutzung. In diesem Fall ist es häufig notwendig, das Gebäude in den Rohbauzustand zurückzuführen, um funktionale, energetische, konstruktive und gestalterische Aspekte im Zusammenhang lösen zu können.

[12] Kaag, W.; Ndi Ndi, P.; Rustom, S.; Ummenhofer, T.; Dröse, F.; Zinke, T.; Fisch, N.; Beier, T.; Eickmeyer, P. (2008); „Energieeffiziente Sanierung von Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre - Erarbeitung einer Planungshilfe“

Der Rückbau einer Fassade ist nur dann ohne weiteres möglich, wenn diese nicht massiv ausgeführt ist, bzw. nicht zur Tragfähigkeit des Gebäudes beiträgt. Eine Fassadenkonstruktion, bei der die Möglichkeit zum Austausch besteht, stellt beispielsweise eine Skelettkonstruktion dar, bei der die Ausfachungen oder vorgehängten Fassadenelemente rückgebaut und durch energetisch hochwertigere ersetzt werden können. Durch diese Maßnahme können neben der Verbesserung des Wärmeschutzes auch weitere Änderungen, wie beispielsweise die Erhöhung des Glasanteils der Fassade vorgenommen werden.

Grundsätzlich sind beide Lösungsansätze für die energetische Sanierung im Nichtwohngebäudebereich sinnvoll. Besonders im Hinblick auf eine Veränderung der Gebäudenutzung kann die Erneuerung der Fassade eine interessante Möglichkeit zur Sanierung bzw. Neuorganisation darstellen. Letztendlich bestimmen jedoch die vorhandene Fassadenkonstruktion sowie der Wunsch nach dem Erhalt derselben das Sanierungskonzept.

4.2 Beschreibung der festgelegten Maßnahmen inklusive Effekten

Dieses Kapitel enthält Auszüge aus dem allgemeinen Teil des Leitfadens, die die wichtigen Maßnahmenbereiche und deren Effekte beschreibt. Ausführlich sind diese Beschreibungen im allgemeinen Teil des Leitfadens zu finden, der als Ergebnis in Form einer separaten Publikation zur Verfügung steht.

4.2.1 Anforderungen an die Behaglichkeit

Ein Großteil des Lebens wird in unseren Breitengraden innerhalb der Gebäude verbracht, weshalb Anforderungen an die Behaglichkeit in Innenräumen entscheidende Planungskriterien darstellen. Bei energetischen Sanierungsmaßnahmen an einem Gebäude muss demnach ein besonderes Augenmerk auf Aspekte der Behaglichkeit gelegt werden, um im Zuge einer Sanierung nicht nur die energetische Qualität des Gebäudes zu verbessern sondern auch die Behaglichkeit positiv zu beeinflussen. Bei sach- und fachgerecht geplanten und ausgeführten Sanierungsmaßnahmen ist dieser Effekt per se erzielbar. In diesem Kapitel werden die Anforderungen an die thermische, visuelle, akustische sowie hygienische Behaglichkeit beschrieben.

4.2.2 Winterlicher Wärmeschutz

Der winterliche Wärmeschutz dient dem Zweck, die Wärmeverluste von Gebäuden während der Heizperiode zu minimieren, hygienisch einwandfreies und behagliches Innenraumklima für die Nutzer zu gewährleisten sowie die Baukonstruktionen dauerhaft vor den Folgen von Feuchteeinwirkungen zu schützen und damit die Schadensfreiheit der Bausubstanz zu garantieren. Beeinflusst wird der bauliche Wärmeschutz durch die Gebäudegeometrie und die bautechnische Ausführung der thermischen Gebäudehülle. Ein guter winterlicher Wärmeschutz ist das Ergebnis von Maßnahmen, welche die Wärmeübertragung zwischen Innenraum und Außenluft sowie niedriger temperierten Gebäudezonen (z.B. Keller-

räume, Dachräume, etc.) reduzieren. Auf diese Weise können der Energiebedarf für die Heizung reduziert und die damit verbundenen Schadstoffemissionen gering gehalten werden. In Kombination mit einer effizienten Anlagentechnik bildet der winterliche Wärmeschutz folglich die Voraussetzung für ein energieeffizientes und nachhaltiges Gebäude. Dieser Abschnitt beschreibt die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Ertüchtigung der Gebäudehüllfläche. Dabei wird neben der Fassade auch auf die Dachsanierung, die Dämmung der obersten Geschossdecke sowie die Dämmung der Kellerdecke eingegangen.

4.2.3 Sommerlicher Wärmeschutz

Neben dem winterlichen Wärmeschutz stellt der sommerliche Wärmeschutz eine weitere wichtige bauphysikalische Planungsaufgabe dar. Hierdurch soll gewährleistet werden, dass sommerliche Überhitzungen und die beim Einsatz von Kühlgeräten entstehenden Energieaufwendungen durch eine entsprechende Planung und Ausführung gering gehalten werden.

4.2.4 Anlagentechnische Maßnahmen

Neben den bautechnischen Sanierungsmaßnahmen existieren auch verschiedene anlagentechnische Maßnahmen für die Sanierung von Nichtwohngebäuden. Allgemein sollte bei einer umfassenden Sanierung von sowohl baulichen als auch anlagentechnischen Komponenten beachtet werden, dass beide Bereiche auf einander abgestimmt werden, bzw. später geplante Sanierungsabschnitte bereits in der ersten Sanierungsphase berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für die Heizungstechnik, die immer eng mit dem bautechnischen Zustand eines Gebäudes verknüpft ist. In diesem Abschnitt des allgemeinen Teils wird sich mit der Integration dezentraler Systeme in die Gebäudehülle befasst.

4.2.6 Weitere Anforderungen

Es gelten weitere Anforderungen, die bei einer Sanierung Berücksichtigung finden sollten und aus diesem Grund auch auf den einzelnen Maßnahmenblättern für das jeweilige Sanierungsprinzip aufgeführt werden. Hierzu zählen unter anderem der Feuchteschutz, die Luftdichtheit, der Schallschutz sowie der Brandschutz. Diese werden in diesem Abschnitt des allgemeinen Teils näher erläutert.

5 Ergebnisse der Forschungsarbeit

Das praktisch anwendbare Ergebnis der hier beschriebenen Forschungsarbeit ist ein aus zwei Teilen bestehender Leitfaden, in den alle Erkenntnisse der Bearbeitung einfließen. Wie aus dem Titel der Arbeit abzuleiten, ist das zentrale Ergebnis ein Katalog mit Modernisierungsempfehlungen, der im Wesentlichen die konkreten Maßnahmenblätter und erläuternden Anwendungshilfen enthält. Es wurde von allen Beteiligten, allem voran der Forschergruppe und dem Auftraggeber, als sinnvoll erachtet, allgemeingültige und generell nützliche Informationen bezüglich der Sanierung von Nichtwohngebäuden mit einem besonderen Fokus auf der Fassade in einem „allgemeinen Teil“ zusammenzufassen. Dieser allgemeine Teil ist der den Maßnahmenblättern vorangestellte Teil des Leitfadens, der für eine praktikable Nutzung als separates Dokument umgesetzt wurde.

Der Maßnahmenstruktur liegt eine Matrix der betrachteten Bestandskonstruktionen und der zielorientiert zuordenbaren Sanierungsmaßnahmen zugrunde. Abbildung 3 zeigt die Matrix mit den entsprechenden Kriterien.

Daran anschließend sind Auszüge aus Maßnahmenblättern eingefügt, die jeweils auf vier Inhaltsseiten in gleicher Abfolge sämtliche Informationen zur jeweiligen Maßnahme, wie bspw. „Wärmedämmverbundsystem auf einschaliger Massivwand“ oder „Fenstertausch bei einschaliger Massivwand“, beinhalten.

Statik	Konstruktion / Bauweise	Gestaltungs-merkmal	IST-Zustand	Pauschaler U-Wert [W/(m²K)] 1949-1978	Nutzungen (Fensterfl.)	Maßnahmen / Prosa	U-Wert Soll [W/(m²K)]	Index	Nr.
Tragend	Massivbauweise, einschalig	Lochfassade	ungedämmt	1,4-1,0	Büro, Schule	WDVS	0,24	AW-Ma 1.1	1
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Ma 1.2 / 1.3	2
						Kombination WDVS und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Ma 1.4 / 1.5	3
			ungedämmt	1,4-1,0	Büro, Schule	Vorgehängte, hinterlüftete Fassade	0,24	AW-Ma 2.1	4
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Ma 2.2 / 2.3	5
						Kombination vorgehängte hinterlüftete Fassade und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Ma 2.4 / 2.5	6
			Sichtmauerwerk, Sichtbeton, Naturstein, erhaltenswert	1,4-1,0	Büro, Schule	Innendämmung	0,35	AW-Ma 3.1	7
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Ma 3.2 / 3.3	8
						Kombination Innendämmung und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Ma 3.4 / 3.5	9
			ungedämmt	1,3-1,1	Büro, Schule	Kerndämmung	-	AW-Ma 4.1	10
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Ma 4.2 / 4.3	11
						Kombination Kerndämmung und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Ma 4.4 / 4.5	12
			ungedämmt	1,3-1,1	Büro, Schule	Kerndämmung und WDVS	0,24	AW-Ma 5.1	13
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Ma 5.2 / 5.3	14
						Kombination Kerndämmung u. WDVS und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Ma 5.4 / 5.5	15
	Massivbauweise, zweischalig	Lochfassade	ungedämmt, erhaltenswert	1,3-1,1	Büro, Schule	Kerndämmung und Innendämmung	0,35	AW-Ma 6.1	16
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Ma 6.2 / 6.3	17
						Kombination Kerndämmung u. Innendämmung und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Ma 6.4 / 6.5	18
Nicht tragend	Skelettbauweise, massive Ausfachung oder massive, vorgehangene Elemente (z.B. Beton)	Lochfassade, Bandfassade	ungedämmt	2,5-1,0	Büro , Schule, Hotel, Sporthalle	WDVS	0,24	AW-Sk 1.1	19
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Sk 1.2 / 1.3	20
						Kombination WDVS und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Sk 1.4 / 1.5	21
			ungedämmt, erhaltenswert	2,5-1,0	Büro , Schule, Hotel, Sporthalle	Innendämmung	0,35	AW-Sk 2.1	22
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Sk 2.2 / 2.3	23
						Kombination Innendämmung und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Sk 2.4 / 2.5	24
	Skelettbauweise, vorgehangene Fassadenelemente, Leichtbauweise	Elementfassade, Pfosten-Riegel-Fassade	ungedämmt	4,0-2,3	Büro , Schule, Hotel, Sporthalle	Austausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,5 / 0,96	AW-Sk 3.1	25

Abb. 3: Matrix der entwickelten Maßnahmen in Anhängigkeit von Statik, Konstruktion und Gestaltungsmerkmalen der Bestandsfassade

alt **Außenwand, Massivbauweise, einschalig, ungedämmt, Putz, Einfach- oder Isolierglas** *neu* **Wärmedämmverbundsystem** **AW-Ma 1.1**

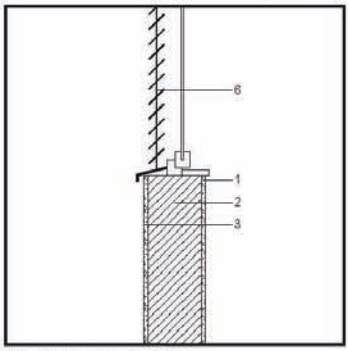


Abb. 7.1 Ausgangssituation

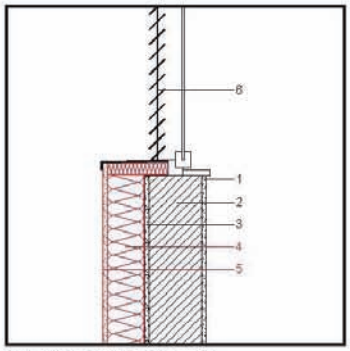
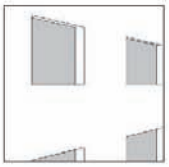


Abb. 7.2 Sanierungsmaßnahme

1 Innenputz
2 tragende Massivwand (Mauerwerk, Stahlbeton, ...)
3 Außenputz, vorhanden
4 Dämmstoffplatte für WDVS, Befestigung gemäß bauaufsichtlicher Zulassung
5 Außenputz
6 Sonnenschutz

System

Ein WDV-System besteht aus mehreren Schichten. Dabei wird der Dämmstoff (vollflächig) im Punkt-Wulst-Verfahren mit Kleber oder mit Mörtel auf der bestehenden Wand verklebt um eine Hinterströmung mit Außenluft zu vermeiden. Bei der Verwendung von Faserplatten als Dämmmaterial oder bei nicht genügend tragfähigem Untergrund ist eine zusätzliche Verdübelung der Dämmung erforderlich. Die Anzahl der notwendigen Dübel und die jeweilige Verankerungstiefe richten sich nach dem vorhandenen Untergrund und werden vom Systemhersteller angegeben. Treten bei der Fassade starke Unebenheiten auf, werden Schienensysteme oder Spezialbefestigungen eingesetzt. Auf die Dämmung wird ein Unterputz mit Armierungsgewebe aufgebracht, der die Rissbildung durch thermische Spannungen verhindert. Nachdem der Armierungsputz abgebunden und trocken ist, erfolgt die Aufbringung einer Deckschicht (z.B. Putz, Riemchen o.ä.), die je nach Farbe oder Körnung die spätere Optik bestimmt. Es dürfen nur komplette, bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme verwendet werden.



U-Werte vorhanden

U_{AW} = 1,4 - 1,0 W/(m²K)

U-Wert nach EnEV 2009

U_{AW} = 0,24 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)

U_{AW} = 0,35 W/(m²K) (von 12 bis unter 19 °C)

Vorteile

Die außenliegende Dämmung durch ein WDV-System schützt den Wandaufbau vor thermischen Belastungen wie starker Aufheizung oder Abkühlung sowie andere äußere Schichten auch, vor Schlagregenbeanspruchung. Daraus resultiert ein dauerhaft spannungs- und rissfreier Wandaufbau. Ein Wärmedämmverbundsystem stellt sich bei sorgfältiger Umsetzung als bauphysikalisch unbedenkliche Konstruktion dar. Auch bestehende Wärmebrücken können bei sachgemäßer Ausführung deutlich reduziert werden. Durch die Anbringung der Dämmung von außen wird die Nutzung während der Bauphase nur im geringen Maße beeinträchtigt. Die Speichermasse der Wand bleibt erhalten, wodurch das sommerliche Raumklima positiv beeinflusst wird. Darüber hinaus zählt die energetische Ertüchtigung der Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem zu den kostengünstigen Sanierungsmaßnahmen.

Besonderheiten

Eine außenseitige Dämmung der Außenwand bietet sich dann an, wenn ohnehin Maßnahmen zur Erneuerung des Putzes oder des Anstriches anstehen. Die durch die energetische Aufwertung verursachten Zusatzkosten fallen bei umfassadenen Instandsetzungsmaßnahmen weniger stark ins Gewicht. Im Vorfeld ist zu klären, ob die Wand ausreichend trocken und standsicher und der Außenputz genügend tragfähig ist, ggf. müssen Nachbesserungen durchgeführt werden bzw. lose Putzbereiche abgeschlagen werden. Anwendungsgrenzen für Wärmedämmverbundsysteme ergeben sich aus der maximal zulässigen Einbauhöhe für das jeweilige System sowie der spezifisch festgelegten Baustoffklasse. Bei der Verlegung der Dämmplatten sollte darauf geachtet werden, dass Kreuzfugen und Fugen im Eckbereich von Öffnungen vermieden werden.[1)] Ebenso sorgfältig sind die Detailausbildungen an Fensterlaibung und Fensterbank zu planen (siehe Abbildung 7.4). Dübel sind so zu setzen, dass der Dübelteller bündig mit der Oberfläche der Dämmplatte abschließt.

[1)] vgl. Schild, K. et al. (2010) „Handbuch Fassaden-dämmsysteme"

Abb. 4: Musterseite Katalog der Maßnahmenblätter – WDVS auf einschaliger Massivwand – Inhalte S. 1

AW-Ma 1.1

Abb. 7.3 Lochfassade mit Sonnenschutz

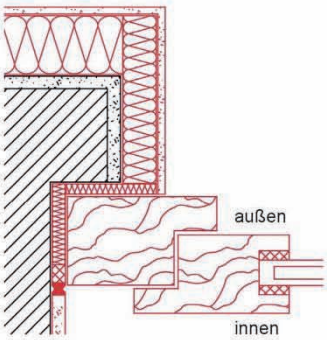


Abb. 7.4 Detail Fensteranschluss (Quelle: Ilias, Universität Stuttgart)

Eine weitere Möglichkeit stellen spezielle Senkdübel dar, die in einem weiteren Arbeitsschritt mit einer dünnen Dämmstoffschicht überdeckt werden.

Winterlicher Wärmeschutz
Wird bei einer Außenwand eine Dämmung von außen angebracht, definiert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 den U-Wert der Wand mit UAW ≤ 0,24 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie UAW≤ 0,35 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Für Wärmedämmverbundsysteme geeignete Dämmstoffe gibt es mit λ-Werten (Bemessungswert für die Wärmeleitfähigkeit) von 0,022 bis 0,050 W/(mK). Die standardisierten Materialstärken betragen je nach Einsatzart (Wandfläche, Fensterlaibung, etc.) zwischen 20 - 200 (300) mm, meist mit Abstufungen von 20 mm. Bei der Festlegung der Plattendicke ist zu prüfen, ob für das gewählte System die gewünschte (Plattendicke) Stärke zugelassen ist.

Wärmebrücken
Wärmetechnische Unregelmäßigkeiten im Aufbau der tragenden Wand durch z.B. Betonteile werden durch WDV-Systeme in ihrer Wärmebrückenwirkung deutlich reduziert. Um Wärmebrücken zu vermeiden, darf die Dämmebene an den Anschlussstellen an andere Bauteile (z.B. Dach, Fenster, etc.) nicht unterbrochen werden.[2)] Zusätzlich zu beachten ist ggf. die örtliche Wärmebrückenwirkung der Dübel. In Abhängigkeit von der Anzahl der Dübel und des verwendeten Produkts sind Aufschläge auf den U-Wert beim rechnerischen Nachweis zu berücksichtigen. Diese sind nur dann notwendig, wenn systembedingt die erforderliche Dübelanzahl überschritten wird.[3)]

Feuchteschutz
Für bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme ist ein rechnerischer Nachweis zur Tauwasserbildung nach DIN 4108-3 nicht erforderlich. Durch die außenseitige Dämmschicht wird die Temperatur im Wandquerschnitt und somit auch an der inneren Bauteiloberfläche erhöht, wodurch bei fachgerechter Planung das Risiko des Tauwasserausfalls und die Gefahr von Schimmelbildung reduziert werden.

Luftdichtheit
Ein WDV-System bildet nicht zwangsläufig eine luftdichte Schicht, was auf die Anschlüsse an andere Bauteile, wie z.B. Fensterrahmen, aber auch auf systembedingte Fugen an den Plattenstößen zurückzuführen ist. Die luftdichte Schicht wird z.B. durch einen intakten Innenputz gebildet. Hierbei ist auf die luftdichte Ausführung von Anschlüssen (z.B. Fensterlaibung, angrenzende Bauteile) und Installationsdurchführungen (z. B. Steckdosen) zu achten.

Sommerlicher Wärmeschutz
Die Anbringung eines WDV-Systems wirkt sich, neben der Verbesserung des winterlichen Wärmschutzes, in der Regel auch positiv auf die sommerlichen Raumtemperaturen aus, da sich durch den erhöhten Wärmedurchlasswiderstand der ertüchtigten Konstruktion die Außenwände durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmen. Des Weiteren nimmt ein von außen angebrachtes WDV-System keinen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Außenwände und die Nutzung. Voraussetzung für akzeptable Innenraumtemperaturen ist in jedem Fall das Vorhandensein eines Sonnenschutzes für die transparenten Bauteilflächen.

Schallschutz
Die schallschutztechnische Qualität eines Wärmedämmverbundsystems hängt stark vom verwendeten System und Material ab. Die dynamische Steifigkeit des verwendeten Dämmstoffes und die flächenbezogene Masse des Putzes sind einflussnehmende Faktoren. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass WDV-Systeme mit Dämmplatten aus Mineralfasern oder Polystyrol in Verbindung mit einem schweren Putzsystem einen postiiven Einfluss auf den Schallschutz besitzen. [4)]

Brandschutz
Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Die Einsatzmöglichkeiten von WDV-Systemen hängen unter anderem von der Baustoffklasse ab, in die das System eingeordnet wird. Diese Einstufung ist zum Einen von der Art des Dämmmaterials, des Weiteren von der Art des Putzmaterials abhängig. Wärmedämmverbundsysteme der Baustoffklasse A dürfen uneingeschränkt für alle Gebäudetypen und auch oberhalb

[2)] siehe auch Kapitel 5.1 „Berücksichtigung angrenzener Bauteile bezüglich ihrer Wärmebrückenwirkung", S.XX
[3)] siehe auch Tabelle XX „Grenzwerte der durchschnittlichen Dübelanzahl n", S.XX
[4)] vgl. Schild, K. et al. (2010) „Handbuch Fassadendämmsysteme"
[5)] siehe auch Kapitel 5.3 „Brandschutz", S.XX
[6)] vgl. Schild, K. et al. (2010) „Handbuch Fassadendämmsysteme"

Abb. 5: Musterseite Katalog der Maßnahmenblätter – WDVS auf einschaliger Massivwand – Inhalte S. 2

AW-Ma 1.1

der Hochhausgrenze eingesetzt werden, während für Systeme der Baustoffklasse B Einschränkungen gelten.[5)] (Fußnote: vgl. Kapitel Brandschutz) Beispielsweise dürfen B-Systeme nicht bei Gebäuden mit erhöhten brandschutztechnischen Anforderungen (z.B. öffentliche Bauten) Anwendung finden.[6)] Bei mehrgeschossigen Gebäuden muss auf die vorgeschriebene Einhaltung von Brandriegeln geachtet werden.

Abhängigkeiten

Die Dämmebene sollte in Anschlussbereichen an Dachflächen (Traufe, Ortgang, Attika) oder an die Dämmung der obersten Geschossdecke möglichst ohne Unterbrechung durchgeführt werden. Anschlüsse an Fenster und Türen sind darüber hinaus luftdicht auszuführen. Ggf. ist aufgrund der Dämmstärken der Dachüberstand anzupassen. Um diese, beispielsweise aus baurechtlichen oder ästhetischen Gründen, möglichst gering zu halten, können Vakuum-Isolations-Paneele (VIP) mit einer sehr geringen Wärmeleitfähigkeit zum Einsatz kommen. Allerdings liegen die Kosten hierfür deutlich über denen konventioneller Dämmstoffe. Bei unbeheizten Kellern sollte die Kellerdecke mindestens 50 cm überdämmt werden. Auf die Einhaltung des Spritzwasserbereichs am Boden von mindestens 30 cm ist zu achten. Mit der Anbringung eines Wärmedämmverbundsystems sollte der gleichzeitige Fensteraustausch und das Versetzen dieser in die Dämmebene in Erwägung gezogen werden, da so die Wirkung von Wärmebrücken in den Fensterlaibungen reduziert werden kann. Ist ein Versetzen der Fenster nicht möglich, ist auf die sachgemäße Dämmung der Fensterlaibungen zu achten.

Abb. 3: Musterseite Katalog der Maßnahmenblätter – WDVS auf einschaliger Massivwand – Inhalte S. 3

AW-Ma 1.1

Konstruktion/Bauweise Massivbau, einschalig, Lochfassade, ungedämmt
Sanierungsvariante Einzelmaßnahme opaker Anteil Fassade
Maßnahmentyp opake Fassade Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

Mittlere Baukosten

	ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst	9,70			0			€/m²	Fassade
Dämmung 1: WDVS	74,70			30,00			€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -	-			-			€/m²	opake Fassade
Fenstertausch	-			-			€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutzsteuerung	-			-			€/m²	absolut
Fensterflächenanteil f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%		
Summe je nach Fensterflächenanteil	**61,99**	**47,05**	**32,11**	**21,00**	**15,00**	**9,00**	€/m²	Fassade

Energetische Qualität

			IST-Zustand: Bandbreite von ... bis				Sanierung	Einheit
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1	1	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5	5	2,7	2,7	wie IST	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert	wie IST	-
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,7	1,2	1,7	1,2	wie IST	-

Energieeinsparung durch Sanierung

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung	delta	%	delta	%	delta	%	delta	%	Einheit	Bezugsfläche
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**80,3**	**15%**	**56,7**	**15%**	**50,7**	**14%**	**35,8**	**14%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	47,3	8%	33,4	8%	29,6	8%	20,9	8%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	119,6	24%	84,4	24%	77,0	22%	54,4	22%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**77,8**	**8%**	**33,9**	**8%**	**30,0**	**8%**	**21,2**	**8%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	45,7	7%	32,3	7%	29,0	7%	20,5	7%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	116,5	21%	82,2	21%	75,6	18%	53,3	18%	kWh/(m²a)	Fassade

Mittlere Kosten der eingesparten kWh

Berücksichtigung der Sowiesokosten			ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	Einheit	Bezugsfläche
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,2**	**1,0**	**4,5**	**1,4**	**5,0**	**1,6**	**7,1**	**2,3**	ct/(kWh m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	3,7	1,0	5,2	1,5	5,9	1,6	8,3	2,3	ct/(kWh m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	2,8	0,9	4,0	1,3	4,3	1,5	6,2	2,1	ct/(kWh m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,3**	**1,0**	**5,1**	**1,4**	**5,8**	**1,6**	**8,2**	**2,3**	ct/(kWh m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	3,8	1,1	5,4	1,5	6,0	1,7	8,5	2,4	ct/(kWh m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	2,9	1,0	4,1	1,4	4,4	1,5	6,3	2,1	ct/(kWh m²a)	Fassade

Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

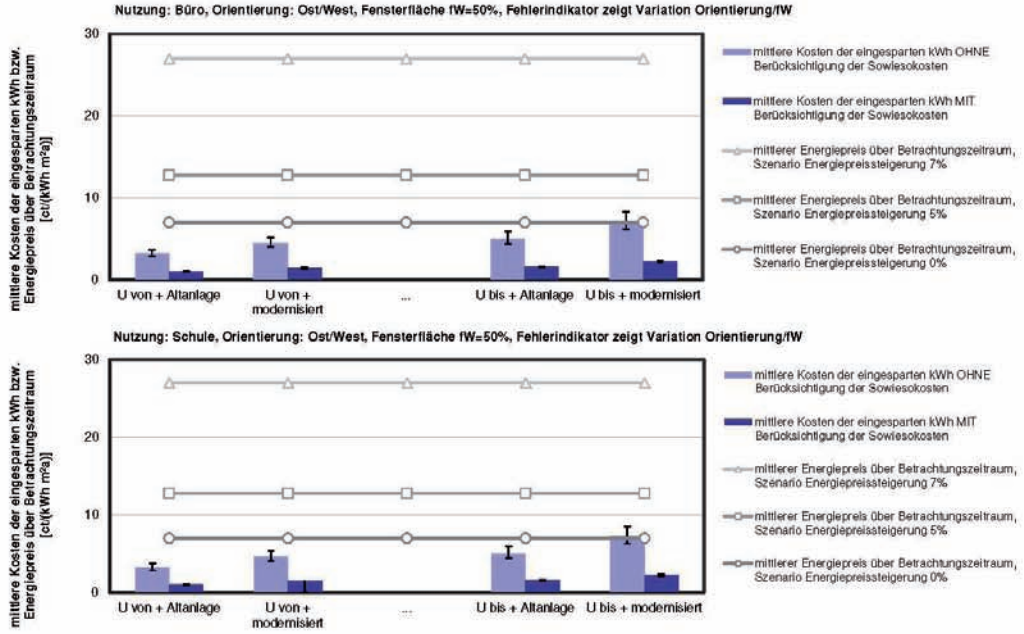


Abb. 4: Musterseite Katalog der Maßnahmenblätter – WDVS auf einschaliger Massivwand – Inhalte S. 4 / Wirtschaftlichkeit

6 Bearbeitungsgrundlagen und Herleitungen

Zielstellung der Entwicklung der Maßnahmenblätter war es, eine klare, übersichtliche und intuitiv anwendbare Struktur zu entwickeln, die eine möglichst hohe Akzeptanz beim Anwender findet und so dem Leitfaden zu möglichst großer Verbreitung verhilft.

Die folgenden Ausführungen zeigen exemplarisch Inhalte und Darstellungen wie sie in zusammenhängender Form im Leitfaden zu finden sind. Es wird darauf geachtet, die verwendeten Ansätze, notwendige Definitionen, Herleitungen, Randbedingungen, Berechnungsansätze etc. zu beschreiben und verständlich darzustellen.

Die Auszüge entstammen den Erläuterungen, Berechnungsansätzen und Nutzungshinweisen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, die Bestandteil aller Maßnahmenblätter und jeweils auf der Inhaltsseite 4 zu finden sind. Somit wird nachvollziehbar der Entwicklungsprozess aufgezeigt.

6.1 Randbedingungen für die Berechnungen - Zentralraummodul

Die Berechnungen erfolgen anhand eines Einzonenmodells, welches einen Raum im Gebäude repräsentiert. Die Geometrie dieses Einraummoduls findet Verwendung als Prüfraum gemäß DIN EN ISO 13791 [13], DIN EN 13792 sowie prEN 15265.

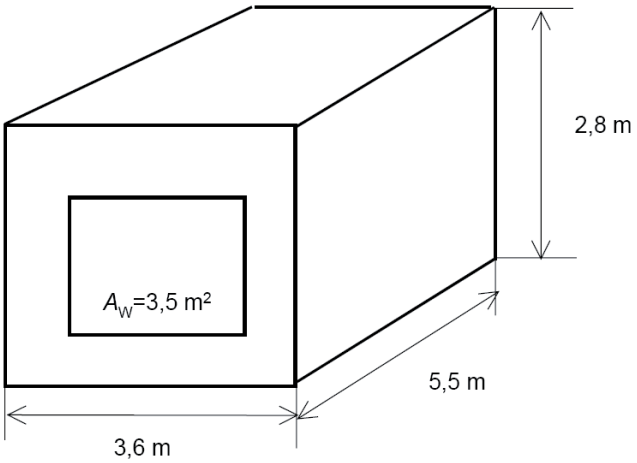


Abb. 5: Geometrie des Einraummoduls gemäß DIN EN ISO 13791 [14], DIN EN ISO 13792 sowie prEN 15265.

Dieses Einraummodell - oder auch Zentralraummodul - stellt einen Ausschnitt der Fassade dar, die umgebenden Flächen (zu Nebenräumen) werden als adiabat angesehen. Die energetische Bewertung bezieht sich dabei auf diesen Raum, der Nutzenergiebedarf wird je m² Fassadenfläche bestimmt. Für die Anwendung auf

[13] DIN EN ISO 13791: 2005-02. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren.

reale Gebäude können die Berechnungsergebnisse dann auf die gesamte Fassadenfläche hochgerechnet werden.

Im Rahmen der Variationsrechnungen werden einige Größen konstant gehalten, andere in definierten Schritten variiert, d.h.

- Fensterflächenanteile bezogen auf die Fassade: 30%, 50% und 70%
- Orientierungen: Nord, Süd und Ost/West
- Nutzungsprofile: Büronutzung, Schule, Hotel und Sportstätte

Für die verschiedenen Nutzungen werden die Raumhöhen angepasst, um die typische Ausführung besser abbilden zu können. Dabei wird die lichte Raumhöhe für Büro und Schule auf 3,2 m festgelegt, beim Hotelzimmer (typischerweise niedriger) auf 2,8 m und bei der Sportstätte auf die doppelte Höhe, d.h. 6,4 m. Die Nettogrundfläche beträgt in allen Fällen ANGF = 19,8 m². Bild 9 gibt die Geometrie und die verschiedenen Fensterflächenanteile wieder.

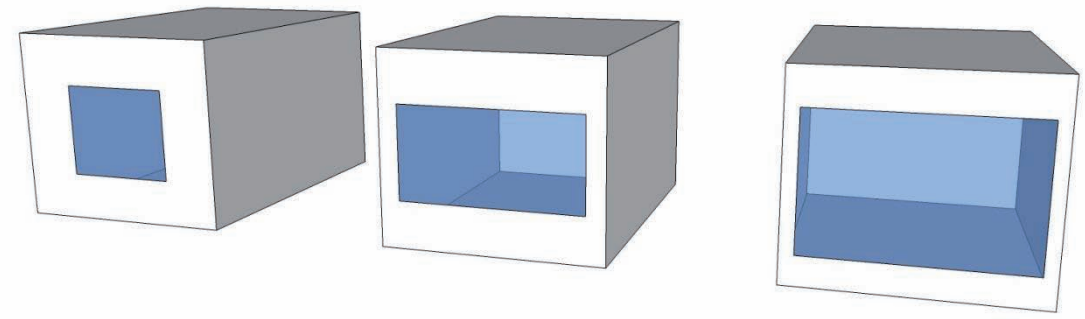


Abb. 6: Zentralraummodul mit verschiedenen Fensterflächenanteilen, d.h. 30%, 50% und 70%.

Die Dokumentation weiterer Parameter und Festlegungen ist im Leitfaden enthalten.

6.2 Herleitung einer mittleren Anlagenaufwandszahl für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Die Berechnungen zur energetischen Bewertung der baulichen Maßnahmen erfolgen auf Grundlage der DIN V 18599-2 anhand der Nutzenergie Heizen für einen Modellraum (siehe Beschreibung in Abschnitt A). Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen erfordern die Bewertung der Energieeinsparung, d.h. die Kenntnis der Endenergie.

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit wird die energetische Qualität der angesetzten Anlagentechnik in einer Bandbreite von einer typischen "Altanlage" bis hin zu einer "modernisierten" Anlage dargestellt, analog zur Bandbreite der U-Werte im Ist-Zustand. Als Kenngröße geht dabei die Anlagenaufwandszahl der Heizung in die Berechnung ein, bezogen auf die Endenergie.

$$e_{Endenergie} = Q_{h,f} / Q_{h,b}$$

Hierfür werden anhand repräsentativer Gebäude spezifizierte Anlagentechnikkonzepte abgebildet und mittels Variationsrechnungen quantifiziert.

6.2.1 Modellgebäude

Die Modellgebäude sind dem Projekt "Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit" [Kirchhof, Klauß, Maas (2010)] entnommen und dort dokumentiert. Die Auswahl umfasst die folgenden Geometrien:

- Bürogebäude klein (BGF 1.972 m²)
- Bürogebäude groß (BGF 6.998 m²)
- Schule klein (BGF 5.003 m²)

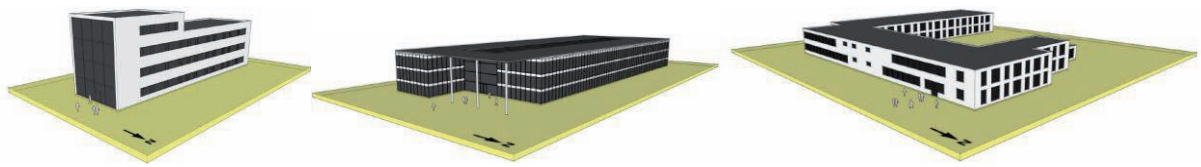


Abb. 7: Drei exemplarische Modellgebäude aus dem BBSR-Projekt „Datenbank mit Modellgebäuden“.

Im Folgenden sind die wesentlichen Merkmale der Spezifikationen sowie die Festlegung weiterer Randbedingungen zusammenfassend aufgelistet.

6.2.2 Spezifikation "Altanlage"

Die Spezifizierung der Anlagentechnik erfolgt auf Grundlage der Festlegungen der "Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand" vom 30. Juli 2009 [BmVBS]. Dabei wird für die vorliegenden Nutzungen Büro, Schule und Hotel als Altanlage ein Niedertemperaturkessel angesetzt (70/55°C). Heizungsanlagen, die vor dem 1. Oktober 1978 eingebaut wurden, erfahren im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen keine Berücksichtigung, da gemäß Energieeinsparverordnung EnEV 2007 ihr Betrieb bis zum 31. Dezember 2006 eingestellt werden musste.

- Niedertemperatur (NT) Gebläsekessel (ohne Brennertausch), Baualtersklasse 1987 bis 1994. Heizöl, 70/55°C, Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle.
- Zweirohrnetz, Baujahr bis 1980, außen liegende Verteilleitungen im unbeheizten Bereich, außen liegende Steigstränge, innen liegende Anbindeleitungen. Pumpe ohne Überströmung, ohne hydraulischen Abgleich, ohne intermittierendem Pumpenbetrieb, nicht bedarfsausgelegt, ungeregelt.

- Heizkörper, Thermostat (2K), Anordnung an Außenwand mit Glasfläche ohne Strahlungsschutz. Bei Luftheizung mit Nachheizer geringe Regelgüte, Regelgröße Raumtemperatur.

6.2.3 Spezifikation "modernisierte Anlage"

Die Spezifizierung der modernisierten Anlage orientiert sich an der Energieeinsparverordnung EnEV 2002. Diese sah jedoch keine Definition einer detailliert beschriebenen Referenz-Anlagengentechnik vor. In der folgenden EnEV 2007 wurde dagegen die energetische Qualität der Anlage beibehalten, womit die dort (erstmals) festgelegte Referenzausführung der Heizung dem Anforderungsniveau der EnEV 2002 entspricht. In diesem Fall kommt auch ein Niedertemperaturkessel zum Einsatz, jedoch mit verbesserten Betriebsdaten. Die Ausführung der Rohrleitungsdämmung orientiert sich an den entsprechenden Baualtersklassen.

- Niedertemperatur (NT) Gebläsekessel (ohne Brennertausch), Baualtersklasse nach 1994. Heizöl, 55/45°C, Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle.

- Zweirohrnetz, Baujahr 1980 bis 1995, außen liegende Verteilleitungen im unbeheizten Bereich, außen liegende Steigstränge, innen liegende Anbindeleitungen. Pumpe ohne Überströmung, mit hydraulischem Abgleich, mit intermittierendem Pumpenbetrieb, bedarfsausgelegt, Δp konstant.

- Heizkörper, Thermostat (2K), Anordnung an Außenwand mit Glasfläche ohne Strahlungsschutz. Bei Luftheizung mit Nachheizer geringe Regelgüte, Regelgröße Raumtemperatur.

6.2.4 Festlegung weiterer Randbedingungen

Quellen: "Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand" [BmVBS] (Mittelwert der relevanten Baualtersklassen 1949 bis 1978) sowie EnEV 2007.

- Baulicher Wärmeschutz Fassade - Bandbreite "von": U_{opak} = 1,4 W/(m²K), $U_{transparent}$ = 5,0 W/(m²K), g = 0,87, τ_{D65} = 0,90

- Baulicher Wärmeschutz Fassade - Bandbreite "bis": U_{opak} = 1,0 W/(m²K), $U_{transparent}$ = 2,7 W/(m²K), g = 0,78, τ_{D65} = 0,82

- Wärmedurchgangskoeffizienten weiterer Bauteile: Flachdach U = 1,6 W/(m²K) unterer Gebäudeabschluss U = 1,17 W/(m²K)

- Wärmebrückenkorrektur ΔU_{WB} = 0,10 W/(m²K), Luftdichtheit n_{50} = 6,0 h^{-1}

- Beleuchtung: direkte Beleuchtung mit verlustarmem Vorschaltgerät und stabförmiger Leuchtstofflame, Regelung manuell, ohne Präsenzkontrolle (Referenzausführung EnEV 2007) , keine Konstantlichtregelung

6.2.5 Quantifizierung der Bandbreite der Anlagenaufwandszahlen

Die Ergebnisse für die endenergiebezogen Anlagenaufwandszahl Heizen zeigen eine relativ große Schwankung um die Mittelwerte, welche bei der Altanlage je nach Dämmniveau der Fassade um 1,8 bis 1,9 liegen, bei der modernisierten Anlage etwa bei 1,6. Die Schwankungen belaufen sich auf ca. -20% bis +10%. Dies gibt jedoch auch die Bandbreite der anzutreffenden energetischen Qualität der Anlagentechnik im Bestand wieder.

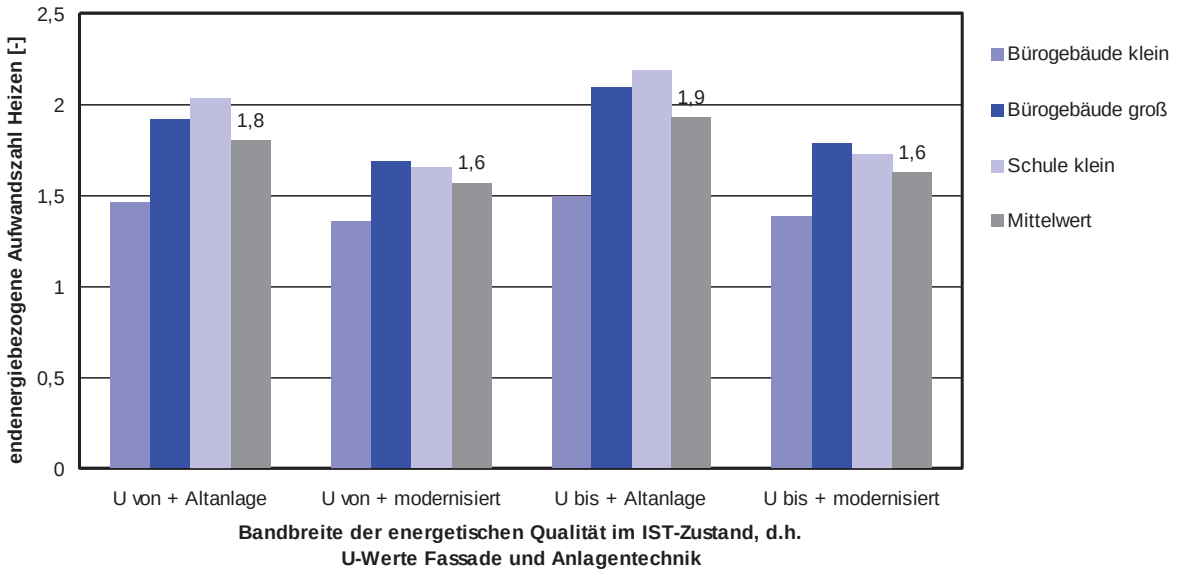


Abb. 8: Ergebnisse der Parameterstudie zur Quantifizierung der Anlagenaufwandszahl.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden als Anlagenaufwandszahlen zur Ermittlung der Endenergie Heizen - ausgehend von der ermittelten Nutzenergie Heizen - die folgenden Werte in Ansatz gebracht:

- Altanlage $e_{Endenergie}$ = 1,9
- modernisierte Anlage $e_{Endenergie}$ = 1,6

6.3 Lesehilfe Maßnahmenblätter - Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Rahmen des Leitfadens werden die jeweiligen Maßnahmen in Form von "**Maßnahmenblättern**" dargestellt. Dabei orientiert sich der Aufbau die Blätter an einer einheitlichen Grundstruktur. Diese setzt sich zusammen aus einem textlichen Teil, welcher in Textform die Maßnahmen und ihre Besonderheiten bezogen auf unterschiedliche Ausgangsfälle beschreibt. Daran schließt sich eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung an, welche in Tabellenform und anhand von Graphiken die energetischen und ökonomischen Berechnungsergebnisse darstellt und einige Zwischenergebnisse dokumentiert.

Die (neun) **Ausgangsfälle** beziehen sich auf die verschiedenen betrachteten Bauweisen und Konstruktionsarten, welche auch die Ausführung der Dämmung

des opaken Anteils der Fassade beeinflussen. Tabelle 2 gibt eine Zusammenfassung wieder.

Tabelle 2: Ausgangsfälle und Maßnahmentypen für den opaken Anteil Fassade.

Nr.	Kürzel	Ausgangsfall	Maßnahmentyp opake Fassade
1	AW-Ma 1	Massivbau, einschalig, Lochfassade, ungedämmt	Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
2	AW-Ma 2	Massivbau, einschalig, Lochfassade, ungedämmt, Verblender	vorgehängte, hinterlüftete Fassade
3	AW-Ma 3	Massivbau, einschalig, Lochfassade, ungedämmt, erhaltenswert	Innendämmung
4	AW-Ma 4	Massivbau, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt	Kerndämmung
5	AW-Ma 5	Massivbau, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt	Kerndämmung und WDVS
6	AW-Ma 6	Massivbau, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt, erhaltenswert	Kerndämmung und Innendämmung
7	AW-Sk 1	Skelettbauweise, Lochfassade, ungedämmt	Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
8	AW-Sk 2	Skelettbauweise, Lochfassade, ungedämmt, erhaltenswert	Innendämmung
9	AW-Vf1	Vorhangfassade	Fassadenaustausch

Die (sieben) **Sanierungsvarianten** umfassen zunächst drei Einzelmaßnahmen, d.h. Dämmung des opaken Anteils der Fassade je nach Ausgangsfall sowie zwei verschiedene Ausführungen beim Fensteraustausch. Die zwei kombinierten Maßnahmen fassen die Dämmung des opaken und transparenten Fassadenanteils zusammen und ergänzen diese um eine Sonnenschutzsteuerung. Für die Vorhangfassade ist als Sanierungsvariante der komplette Fassadenaustausch vorgesehen. Auch hier werden zwei Ausführungen betrachtet mit unterschiedlichen Wärmedurchgangskoeffizienten der Fassade Ucw. Alle Varianten sind in Tabelle 3 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 3: Sanierungsvarianten.

Nr.	Sanierungsvarianten
1	Einzelmaßnahme opaker Anteil Fassade
2	Einzelmaßnahme Fenstertausch EnEV(2009)-Standard U = 1,3 W/(m²K)
3	Einzelmaßnahme Fenstertausch verbessert U = 0,95 W/(m²K)
4	Kombinierte Maßnahme: Dämmung, Fenstertausch EnEV(2009)-Standard U = 1,3 W/(m²K), Sonnenschutzsteuerung
5	Kombinierte Maßnahme: Dämmung, Fenstertausch verbessert U = 0,95 W/(m²K), Sonnenschutzsteuerung
6	Vorhangfassade Fassadenaustausch U_{cw} = 1,5 W/(m²K)
7	Vorhangfassade Fassadenaustausch verbessert U_{cw} = 0,96 W/(m²K)

Die tabellarische Darstellung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen fasst zunächst die Ermittlung der mittleren Baukosten zusammen. Diese sind in zwei Spalten einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung der sogenannten "Sowiesokosten" aufgeführt. Diese Kosten umfassen diejenigen Baukosten, welche "sowieso" anfallen, wenn davon auszugehen ist, dass eine Sanierung geplant ist, z.B. die Aufstellung des Außengerüsts und der Fenstertausch auf das notwendige EnEV-Niveau mit U = 1,3 W/(m²K).

Die mittleren Baukosten ergeben sich je nach Sanierungsvariante und Maßnahmentyp aus den Kosten für die Dämmung des opaken Anteils der Fassade, ggf. zuzüglich Zusatzkosten wie Außengerüst oder Unterkonstruktion, den Kosten des Fensteraustauschs sowie der Kosten für Sonnenschutz und -steuerung.

Die Werte sind jeweils auf das Bauteil selbst bezogen (Bezugsfläche opake oder transparente Fassade) oder auf die gesamte Fassade (z.B. Außengerüst). Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, sind diese unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung zu berücksichtigen. Die Summe wird je nach Fensterflächenanteil bezogen auf die Gesamtfassade angegeben.

Die Darstellung der **energetischen Qualität** enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite "von ... bis", d.h. in einer Größenordnung, welche für diesen Ausgangsfall typischerweise anzutreffen ist. Die U-Werte für den sanierten Zustand liegen im Bereich des Anforderungsniveaus EnEV. Für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogen Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Durch die Kombination von U-Werten von ... bis sowie Aufwandszahlen von ... bis ergeben sich vier Werte, welche die Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand widerspiegeln.

Bei den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wird die Struktur der Bandbreite weitergeführt, d.h. die Zahlenwerte sind den vier vorher definierten Spalten der unterschiedlichen energetischen Qualitäten zugeordnet. Die Energieeinsparung der Sanierung wird dabei als "delta" angegeben, d.h. als Differenz des berechneten Endenergiebedarfs für den IST-Zustand und die Sanierung. Darüber hinaus ist die prozentuale Änderung bezogen auf den IST-Zustand angegeben. Die Werte sind für unterschiedliche Nutzungen (Büro/Schule oder Hotel/Sportstätte) angegeben. Ebenfalls variiert bei den Berechnungen wurden Fensterflächenanteile und Orientierung. In der Tabelle dargestellt ist jedoch nur der Wert für den Basisfall, d.h.

- Fensterflächenanteil f_W = 50%
- Orientierung Ost/West

Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30%, 70%) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben.

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der **mittleren Kosten der eingesparten kWh** in [ct/(kWh/(m²a))]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung der Sowiesokosten. Eine Wirtschaftlichkeit

ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums liegen. Dies ist in der Graphik dargestellt, d.h. die horizontalen Verläufe geben den mittleren Energiepreis für drei verschiedene Szenarien wieder, bei Variation der Energiepreissteigerungen von 3% über 5% bis 7%.

Auf die gleichen Vergleichswerte bezieht sich auf die farbige Darstellung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in der Tabelle, welche wie folgt definiert ist:

- Kosten eingesparte kWh < Energiepreis (Preissteigerung 0%) = dunkelgrün
- Kosten eingesparte kWh < Energiepreis (Preissteigerung 5%) = hellgrün
- Kosten eingesparte kWh < Energiepreis (Preissteigerung 7%) = blau
- Kosten eingesparte kWh > Energiepreis (Preissteigerung 7%) = rot

Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.**

Die verschiedenen Balken geben dabei die Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand wieder, wie oben in der vierspaltigen tabellarischen Darstellung. Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile f_w.

7 Fazit

Mit dem im Zuge der Untersuchung entwickelten Leitfaden existiert als Ergebnis der Forschungsarbeit erstmalig ein Instrument, um die geforderten Modernisierungsempfehlungen bei Energieausweisen für Nichtwohngebäude zielsicher, fundiert und mit reduziertem Aufwand ableiten zu können. Basierend auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und Methoden, die mit der Praxis abgestimmt sind, steht Planern, Beratern und Investoren ein Hilfsmittel zur Verfügung, das Entscheidungsprozesse unterstützt und zu wesentlichen Erleichterungen in der Beratungspraxis führt. Der aus einem allgemeinen Teil und konkreten Maßnahmenblättern bestehende Leitfaden muss dabei in seinem Umfang als Basiswerk verstanden werden, das hinsichtlich weiterer Nutzungstypen und Konstruktionen zukünftig eine Erweiterung erfahren sollte. Der Aufbau der Maßnahmenblätter hat eine Struktur, die durch ihre Klarheit und wiederkehrende Positionierung der Inhalte, Bilder und Grafiken das Potenzial hat, daraus einen Standard zu etablieren. Somit kann erwartet werden, dass der Leitfaden in der praktischen Anwendung eine weite Verbreitung findet.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Ausschuss für Gefahrstoffe (Hrsg.) (2007);„Technische Regeln für Gefahrstoffe“ (TRGS 519); http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/TRGS-519.pdf?__blob=publicationFile&v=3; Zugriff am 10.01.2012

BauNetz Media GmbH; „Das Online-Fachlexikon“; Berlin; www.baunetzwissen.de; Zugriff am 19.01.2012

Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2010); „UmweltWissen – Asbest“; Augsburg; http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_9_asbest.pdf; Zugriff am 10.01.2012

Deutscher Sportbund (2002); „Sportstättenstatistik der Länder“; http://www.dosb.de/fileadmin/fm-dsb/arbeitsfelder/umwelt-sportstaetten/Veroeffentlichungen/Sportst_ttenstatistik.pdf; Zugriff am 15.12.2011

Dorsemagen, D. (2004); „Büro- und Geschäftshausfassaden der 50er Jahre – Konservatorische Probleme am Beispiel West-Berlin“; Dissertation; Berlin; http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2004/845/pdf/dorsemagen_dirk.pdf; Zugriff am 15.08.2011

Ebbert, T. (2010); „RE-FACE. Refurbishment Strategies for the technical improvement of office facades“; Dissertration; Bochum

Ettrich, M.; Hauser, G.; Hoppe, M. (2010); „Modernisierungsempfehlungen im Rahmen der Ausstellung eines Energieausweises - Energetische, baukonstruktive, bauphysikalische und wirtschaftliche Bewertung von Modernisierungsmaßnahmen“; Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.); München

Gierga, M.; Erhorn, H. (1993); „Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland“; Forschungszentrum Jülich GmbH (Hrsg.); Jülich

Herzog, T.; Krippner, R.; Lang, W. (2004);„Fassaden Atlas“; Institut für Internationale Architektur-Dokumentation (Hrsg.); München

Institut für Wohnen und Umwelt (bislang nicht veröffentlicht); „Typologiegestützte Analyseinstrumente für die energetische Bewertung bestehender Nichtwohngebäude“

Kaag, W.; Ndi Ndi, P.; Rustom, S.; Ummenhofer, T.; Dröse, F.; Zinke, T.; Fisch, N.; Beier, T.; Eickmeyer, P. (2008); „Energieeffiziente Sanierung von Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre - Erarbeitung einer Planungshilfe“; Technische Universität Braunschweig (Hrsg.); http://www.igs.bau.tu-bs.de/_forschung/_abgeschl.projekte/_prosab/images/abschlussbericht_prosab.pdf; Zugriff am 18.07.2011

Kirchhof, W.; Klauß, S.; Maas, A. (2010); „Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit“; Endbericht; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg.); Kassel

Knaack, U.; Klein, T.; Bilow, M.; Auer, T. (2007); „Fassaden - Prinzipien der Konstruktion“; Berlin

Lang, W. (2000); „Typologische Klassifikation von Doppelfassaden und experimentelle Untersuchung von dort eingebauten Lamellensystemen aus Holz zur Steuerung des Energiehaushaltes hoher Häuser unter besonderer Berücksichtigung der Nutzung von Solarenergie“; Dissertation; München; http://d-nb.info/959758488/34; Zugriff am 15.05.2011

Laufs, T. (2010); „Hüllkonstruktionen – Anforderungen, Einteilung und Stellenwert“; in: Innovative Fassadentechnik 09/2010, S. 6-14; Berlin

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (2011); „Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland“; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.); BMVBS-Online-Publikation 16/2011; http://www.irbnet.de/daten/baufo/20118035380/Endbericht.pdf; Zugriff am 14.11.2011

Maier (2009); „Energetische Sanierung von Altbauten.“; Stuttgart

Oesterle, Lieb, Lutz, Heusler (1999); „Doppelschalige Fassaden - Ganzheitliche Planung“; München

Riccabona, C.; Mezera, K. (2010); „ Baukonstruktionslehre 5 – Sanierung, Industriebau, Fassaden“; 6. Auflage; Wien

Schild, K.; Weyers, M.; Willems, W.-M. (2010); „Handbuch Fassadendämmsysteme - Grundlagen-Produkte-Details“; 2. Auflage; Stuttgart

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2010); „Statistisches Jahrbuch 2010. Für die Bundesrepublik Deutschland“; Wiesbaden; www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/SharedContent/Oeffentlich/B3/Publikation/Jahrbuch/StatistischesJahrbuch,property=file.pdf; Zugriff am 18.07.2011

TROX GmbH (Hrsg.) (2010); „Luft zum Lernen. TROX SCHOOLAIR – Energieeffiziente Lüftungslösungen für Schulen“; Neukirchen-Vluyn; http://www.trox.de/xpool/download/de/technical_documents/air_water_systems/sa_sch_d_3.pdf; Zugriff am 30.01.2012

Voss, K.; Löhnert, G.; Herkel, S.; Wagner, A.; Wambsganß, M. (2007); „Bürogebäude mit Zukunft“; FIZ Karlsruhe (Hrsg.); 2. Auflage; Karlsruhe

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anzahl der Gebäude ausgewählter Nutzungen (Quelle: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (2011); „Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland“; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.)) 14
Abb. 2: Anstieg der CO2-Konzentration in Klassenräumen (Quelle: TROX) 17
Abb. 3: Matrix der entwickelten Maßnahmen in Anhängigkeit von Statik, Konstruktion und Gestaltungsmerkmalen der Bestandsfassade 1725
Abb. 4: Musterseite usterseite Katalog der Maßnahmenblätter – WDVS auf einschaliger Massivwand – Inhalte S. 1 1726
Abb. 5: Musterseite Katalog der Maßnahmenblätter – WDVS auf einschaliger Massivwand – Inhalte S. 2 1727
Abb. 6: Musterseite Katalog der Maßnahmenblätter – WDVS auf einschaliger Massivwand – Inhalte S. 3 28
Abb. 7: Musterseite Katalog der Maßnahmenblätter – WDVS auf einschaliger Massivwand – Inhalte S. 4 / Wirtschaftlichkeit 29
Abb. 8: Geometrie des Einraummoduls gemäß DIN EN ISO 13791 [14], DIN EN ISO 13792 sowie prEN 15265. 30
Abb. 9: Zentralraummodul mit verschiedenen Fensterflächenanteilen, d.h. 30%, 50% und 70%. 31
Abb. 10: Drei exemplarische Modellgebäude aus dem BBSR-Projekt „Datenbank mit Modellgebäuden“. 32
Abb. 11: Ergebnisse der Parameterstudie zur Quantifizierung der Anlagenaufwandszahl. 34
Abb. 12: Arbeitspakete und Zeitplan 42
Abb. 13: Stadtbücherei in Würzburg (eigene) 45
Abb. 14: Bürogebäude in Kassel (eigene) 46
Abb. 15: Universitätsgebäude in Kassel (eigene) 48
Abb. 16: Bürogebäude in Kassel (eigene) 50
Abb. 17: Lebenserwartung bestimmter Materialien unter Anwendung im Fassadenbereich (Quelle: Initiative „Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen“) 51
Abb. 18: Psychologische, physikalische und intermediäre Einflussgrößen auf die thermische Behaglichkeit (BetonMarketing Deutschland) 57

Anhang

Arbeitspakete

Das Forschungsprojekt gliedert sich laut Zuwendungsantrag in folgende Arbeitspakete:

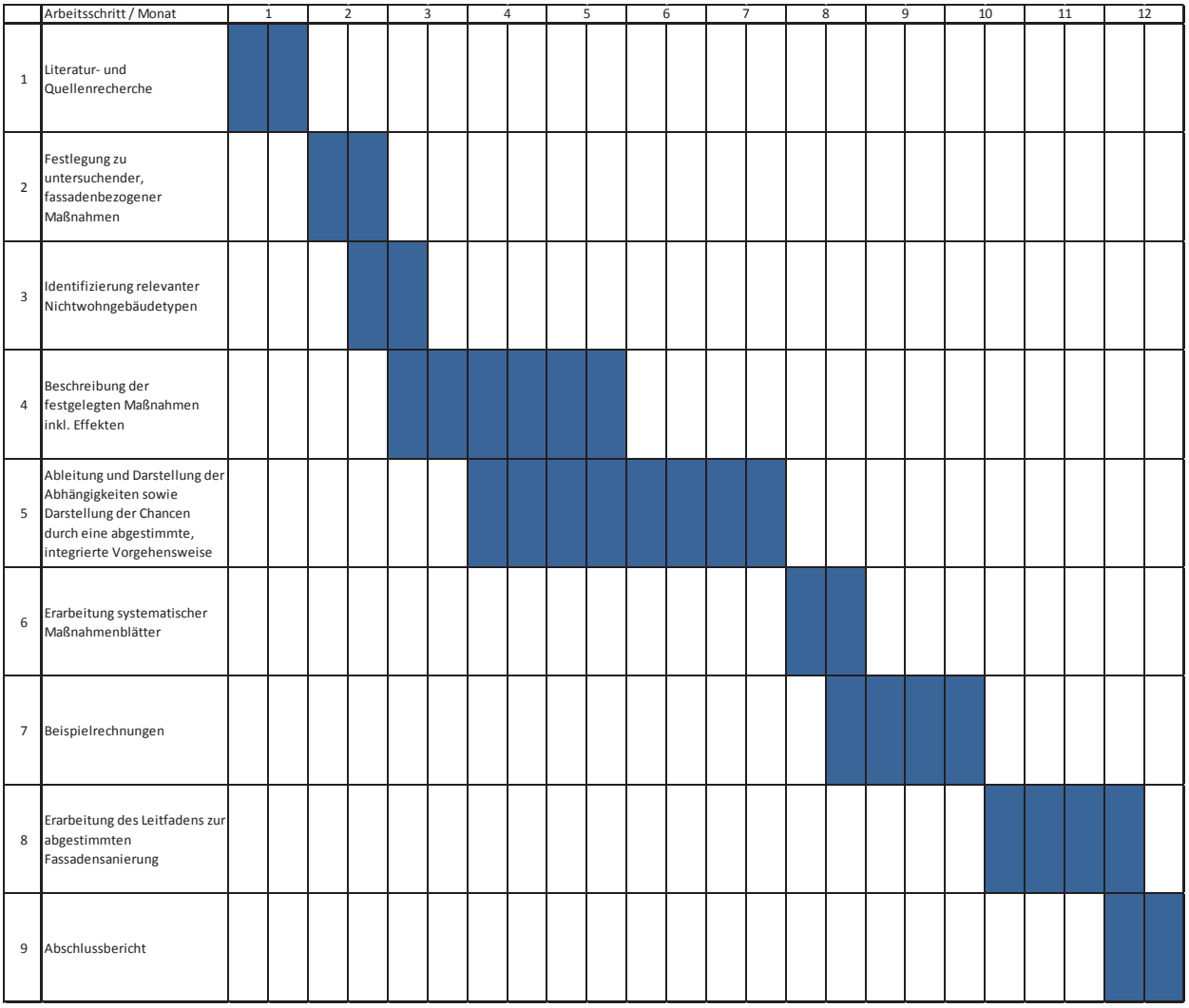


Abb. 9: Arbeitspakete und Zeitplan

Fassadenbezogene Hinweise, Besonderheiten und Anforderungen

Fassadenbauweisen und Konstruktionsarten

Aus konstruktiver Sicht lassen sich zwei wesentliche Fassadentypen unterscheiden, tragende und nicht tragende, vorgehängte Fassaden. Sowohl tragende, als auch nicht tragende Fassaden müssen eine Reihe von einwirkenden Lasten (z.B. Eigenlast, Windlast, Schnee- und Eislast, etc.) sicher aufnehmen und ableiten können, die tragende Außenwand hat darüber hinaus die Standsicherheit des Gebäudes zu gewährleisten.

Tragende Außenwandkonstruktionen können entweder aus massiven Wandaufbauten oder aus einem Skelett mit Ausfachung in einer Ebene zwischen den Stützen bestehen. Im Laufe der Zeit entwickelten sich aufgelöste Wandkonstruktionen, bei denen die Funktion der Lastabtragung und des Raumabschlusses getrennt wurden. Die Außenwände wurden zu einem skelettartigen Tragwerk aufgelöst.[14] Skelettkonstruktionen bieten im Vergleich zur massiven Bauweise vor allem bessere Belichtungsmöglichkeiten und einen deutlich größeren Sichtbezug nach außen.

Je nach Fassadenausführung existieren unterschiedliche Sanierungsansätze. Aus diesem Grund muss bei einer geplanten Sanierung einer Gebäudefassade im Vorfeld analysiert werden, welche der Elemente zur Tragfähigkeit des Gebäudes beitragen, bzw. fest verbaut oder austauschbar sind.[15] Im Nichtwohngebäudebestand existiert darüber hinaus eine Vielzahl an gängigen Fassadensystemen, die sich in Bezug auf ihre Gestalt durch Art und Gliederung bzw. Anordnung der Öffnungen und geschlossenen Teilen unterscheiden lassen. Nachfolgend soll diesbezüglich ein kurzer Überblick geschaffen werden:

Tragende, massive Wandkonstruktionen

Bis 1952, also vor Einführung der DIN 4108 für den Wärmeschutz, sind Fassaden in der Regel als monolithisch massive Wandkonstruktionen oder als ein aus Schichten zusammengesetztes Bauteil mit äußerer Bekleidung ausgeführt. Massive Außenwände bestehen meist aus Mauerwerk, Natur- oder Kunststein oder können in Beton- oder Stahlbetonbauweise ausgeführt sein. Die Bekleidung mit Wetterschutzfunktion besteht aus Putz, Natursteinplatten, Zementplatten, Keramik, Metall oder Holz.[16]

[14] Knaack, U.; Klein, T.; Bilow, M.; Auer, T. (2007); „Fassaden - Prinzipien der Konstruktion“

[15] Kaag, W.; Ndi Ndi, P.; Rustom, S.; Ummenhofer, T.; Dröse, F.; Zinke, T.; Fisch, N.; Beier, T.; Eickmeyer, P. (2008); „Energieeffiziente Sanierung von Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre - Erarbeitung einer Planungshilfe“

[16] Kaag, W.; Ndi Ndi, P.; Rustom, S.; Ummenhofer, T.; Dröse, F.; Zinke, T.; Fisch, N.; Beier, T.; Eickmeyer, P. (2008); „Energieeffiziente Sanierung von Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre - Erarbeitung einer Planungshilfe“

In ihrer Ausführung wird zwischen Warm- und Kaltfassaden differenziert. Fassaden, die einschalig, bzw. als Warmfassaden ausgeführt sind, übernehmen die Funktion des Raumabschlusses und der thermischen Trennung, während bei Kaltfassaden die raumabschließende Schicht von der Wetterschutzhülle durch eine Luftschicht getrennt ist. Die belüftete Schicht bewirkt, dass die hinter dieser befindliche Wand bzw. Wärmedämmung bei eventuell anfallender Feuchte, hervorgerufen durch beispielsweise Leckagen in der Wetterschutzschicht, abtrocknen kann.[17] Diese Fassadentypen werden auch als vorgehängte, hinterlüftete Fassaden bezeichnet.

Massive Wandkonstruktionen sind, bezogen auf ihr Erscheinungsbild, häufig als Lochfassaden ausgeführt, d.h. ihre Fenster verteilen sich wie einzelne „Löcher" über die homogene Fassadenfläche. Der Fensterflächenanteil von Lochfassaden ist in der Regel geringer, als der opake Fassadenanteil. Dieses Verhältnis ergibt sich aus konstruktiven bzw. statischen Gründen.[18]

Der Wärmeschutz massiver Bestandskonstruktionen kann häufig die heutigen Anforderungen nicht mehr erfüllen, denn viele Konstruktionen weisen lediglich eine geringe oder gar keine Dämmung auf. Während die Fenster als nicht tragende Elemente ausgetauscht werden können, ist ein Rückbau bzw. Ersatz bei der Fassade selbst nicht möglich, da diese eine tragende Funktion besitzt. Eine Möglichkeit zur Sanierung besteht im Aufbringen einer zusätzlichen Dämmschicht von außen oder innen. Auch die Vergrößerung des Fensterflächenanteils, beispielsweise aufgrund von erhöhten visuellen Anforderungen (z.B. Bürogebäude), ist bei massiv ausgeführten Fassaden nicht oder nur mit einem erheblichen Aufwand zu realisieren.

Ausführungen:

Tragende, massive Wandkonstruktionen können beispielsweise als Lochfassade, wie in der nachfolgenden Aufnahme einer Fassade der Stadtbibliothek in Würzburg zu sehen, ausgeführt sein.

[17] Knaack, U.; Klein, T.; Bilow, M.; Auer, T. (2007); „Fassaden - Prinzipien der Konstruktion"
[18] Dorsemagen, D. (2004); „Büro- und Geschäftshausfassaden der 50er Jahre – Konservatorische Probleme am Beispiel West-Berlin"

Abb. 10: Stadtbücherei in Würzburg (eigene)

Tragende, skelettartige Wandkonstruktionen

Gebäude mit einer ausgefachten Fassade und sichtbaren, tragenden Stützen in der Fassadenebene werden als Skelettbauten bezeichnet. Im Unterschied zur geschlossenen, massiven Außenwand bilden die Stützen und Decken eine bestimmte geometrische Gliederung. Die Ausfachungen der Konstruktion bestehen aus transparenten und opaken Bauteilen: Leichtbeton, Betonsteinwerk, Ziegelmauerwerk, Paneele, Glasbausteine, Festverglasungen oder Fensterelemente.[19]

Einen historischen Vertreter der Skelettbauweise stellen Fachwerkkonstruktionen dar. Diese bestehen aus einer Holzrahmenkonstruktion mit Ausfachungen verschiedenster Materialität. Je nach Region wurden dafür Ziegel, Lehme oder Geflechte verwendet. Diese Bauweise existiert heute jedoch weitestgehend nur noch im Wohngebäudebestand und kann für den Nichtwohngebäudebestand als nicht repräsentativ angesehen werden, weshalb sich im Folgenden auf Skelettkonstruktionen in Beton- und Stahlbetonbauweise beschränkt wird.

Da die Primärstruktur von skelettartigen Fassadenkonstruktionen aus in einer Ebene liegenden Stützen und Geschossdecken besteht, muss diese gute Wärmedämmeigenschaften besitzen. Bei vielen Bestandsgebäuden ist dies jedoch nicht der Fall. Meist treten Probleme hinsichtlich des Wärmeschutzes auf, da die in der Regel ungedämmten Stützen und Deckenscheiben aus Stahlbeton die Fassadenebene durchdringen und in unmittelbarem Kontakt zur Außenluft stehen. Durch diesen Umstand entstehen massive Wärmebrücken, denn Beton besitzt eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit. Folglich kühlen die Bauteile ab und weisen auch auf

[19] Kaag, W.; Ndi Ndi, P.; Rustom, S.; Ummenhofer, T.; Dröse, F.; Zinke, T.; Fisch, N.; Beier, T.; Eickmeyer, P. (2008); „Energieeffiziente Sanierung von Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre - Erarbeitung einer Planungshilfe“

den Rauminnenseiten kalte Oberflächentemperaturen auf, was die Entstehung von Schimmelpilz begünstigen kann.

Häufig bestehen die Ausfachungen von Skelettkonstruktionen aus Leichtbeton-Mauerwerk. Die hohe Porosität des Leichtbetons führt zwar zu einem verhältnismäßig guten Wärmedurchgangskoeffizienten, jedoch besteht aufgrund des geringen Wasserdampf-Diffusionswiderstandes einer solchen Konstruktion die Gefahr, dass Feuchtigkeit von innen in die Konstruktion eindringt und Kondensatbildung auftritt, die in der Regel zu einer Durchfeuchtung des Mauerwerks und entsprechenden Schäden führt. Würde im Falle einer Sanierung die vorhandene Außenbekleidung nicht durch eine hinterlüftete Konstruktion ersetzt, sollte die Fassade von innen mit einer Dampfsperre versehen werden.[20]

Ausführungen:

- Pfeilerfassade
- Ausgefachte Fassade
- Bandfassade

Abb. 11: Bürogebäude in Kassel (eigene)

[20] Dorsemagen, D. (2004); „Büro- und Geschäftshausfassaden der 50er Jahre – Konservatorische Probleme am Beispiel West-Berlin“

Nicht tragende, vorgehängte Wandkonstruktionen

Vorgehängte Fertig-Fassaden, auch Vorhangfassaden oder Curtain Walls genannt, haben die Architektur von Skelettbauten stark geprägt. Im Unterschied zur Skelettbauweise tritt anstelle einer Ausfachung des Skeletts die industriell vorgefertigte, leichte Wetterschutzhülle, die vor das Gebäudeskelett „gehängt“ wird.[21]

Die vorgehängte Fassade ist ein System, das vor dem tragenden Gebäudegerüst angebracht wird, um dieses zu verkleiden. Dadurch wird eine konsequente Trennung zwischen Rohbaukonstruktion und Fassadenkonstruktion ermöglicht, denn das System übernimmt nicht länger die Tragfähigkeit des Gebäudes. Die Abtragung der auf die Fassade einwirkenden Horizontal- und Vertikallasten erfolgt in der Regel geschossweise, kann aber auch mit eingefügten Tragwerkkomponenten größere Distanzen überbrücken. Die Befestigung am Tragwerk erfolgt punktförmig mit justierbaren und korrosionsgeschützten Winkeln, Konsolen oder Ankerschrauben.[22]

Aufgrund ihrer Unabhängigkeit zum Haupttragwerk des Gebäudes können Teilungen, Gliederungen und Ausfachungen von Vorhangfassaden frei gewählt werden. Die Vorhangfassade ist jedoch nicht zu verwechseln mit der bereits beschriebenen vorgehängten, hinterlüfteten Fassade. Während es sich bei diesem Fassadentyp um eine Kaltfassade handelt, ist die Vorhangfassade ohne Hinterlüftung nämlich als Warmfassade ausgeführt.

Grundsätzlich lassen sich vorgehängte Fassadenkonstruktionen in ihrer Bauweise der Tafel- oder Plattenbauweise oder der Sprossen- oder Rahmenbauweise zuordnen, von denen die im Folgenden beschriebenen Typen im Nichtwohngebäudebereich weit verbreitet sind:

Bei der Elementkonstruktion besteht die Konstruktion aus einer häufig geschosshohen oder halbgeschosshohen Platte bzw. Tafel, bei der die Öffnungen in der Fläche für die Belichtung ausgespart werden. Sie erhält ihren Ausdruck durch die Aneinanderreihung von Fassadenelementen gleicher Größe. Wesentlicher Vorteil dieser Bauweise liegt in der Möglichkeit der Werkstattvorfertigung einbaufertiger, bereits verglaster Fassadenelemente unter kontrollierten Bedingungen, wodurch auf der Baustelle eine schnelle Montage ermöglicht wird.[23]

Die Pfosten-Riegel-Konstruktion besteht im Gegensatz zur Elementbauweise aus einer Sprossenkonstruktion mit Einzelbestandteilen und ist nicht aus vorgefertigten Elementen hergestellt. Sie setzt sich aus fünf Hauptelementen zusammen: Pfosten, Riegel, Füllelemente, Dichtungen und Press- und Deckleisten. Die Pfos-

[21] Schild, K.; Weyers, M.; Willems, W.-M. (2010); „Handbuch Fassadendämmsysteme - Grundlagen-Produkte-Details“
[22] Herzog, T.; Krippner, R.; Lang, W. (2004); „Fassaden Atlas“
[23] Kaag, W.; Ndi Ndi, P.; Rustom, S.; Ummenhofer, T.; Dröse, F.; Zinke, T.; Fisch, N.; Beier, T.; Eickmeyer, P. (2008); „Energieeffiziente Sanierung von Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre - Erarbeitung einer Planungshilfe“

ten und Riegel bestehen in der Regel aus gepressten Aluminium- oder Stahlprofilen.[24]

Neben den Alterungs- und Verschleißerscheinungen an beispielsweise Dichtungen und Beschlägen sind bei diesen Wandkonstruktionen die gestiegenen Komfortansprüche und die Notwendigkeit zur Wärmedämmung die wichtigsten Sanierungsgründe. Aufgrund der Unabhängigkeit zum Haupttragwerk des Gebäudes besteht die Möglichkeit zum Austausch der Elemente. Bei Pfosten-Riegel-Konstruktionen bleibt jedoch häufig das Problem der thermisch nicht ausreichend getrennten Tragprofile, durch die trotz Austausch durch energetisch hochwertige Paneele massive Wärmebrücken entstehen können.

Ausführungen:

- Pfosten-Riegel-Fassade
- Elementfassade
- Rahmen-Pfosten-Fassade

Abb. 12: Universitätsgebäude in Kassel (eigene)

[24] Schild, K.; Weyers, M.; Willems, W.-M. (2010); „Handbuch Fassadendämmsysteme - Grundlagen-Produkte-Details“

Doppelfassaden

Mit Einzug der Energiekrise im Jahr 1973 gewinnen die Reduzierung des Energieverbrauchs von Gebäuden und damit der bauliche Wärmeschutz zunehmend an Bedeutung. Eine ab dieser Zeit im Nichtwohngebäudebereich häufig eingesetzte Konstruktion ist die Doppelfassade, die aus einem Fassadensystem mit mehreren Ebenen besteht. Sie beruht auf dem Prinzip der Mehrschaligkeit und besteht aus Außenfassade, Fassadenzwischenraum und Innenfassade.[25]

Mehrschalige, transparente Glasfassadensysteme stellen Hüllkonstruktionen von Gebäuden dar, bei denen vor oder hinter der eigentlichen Fassade eine zusätzliche Verglasung angeordnet ist. Dieses Anordnungsprinzip soll zum einen dazu beitragen, den Energieverbrauch zu reduzieren, des Weiteren soll der Komfort im Gebäudeinneren verbessert werden.[26]

Die Außenfassade (Sekundärfassade) bietet Witterungsschutz, trägt zum Schallschutz bei und ist mit Öffnungen für eine Belüftung des Fassadenzwischenraums und der dahinter liegenden Räume ausgestattet. Die innenliegende Primärfassade stellt den Raumabschluss dar und übernimmt die wärmedämmende Funktion. Der Fassadenzwischenraum kann unterschiedlich groß ausgeführt sein. Durch solare Einstrahlung erwärmt sich die Luft in diesem und dient so als thermische Pufferzone.[27] Darüber hinaus bietet die Anordnung einer „zweiten Haut“ die Möglichkeit, bewegliche Sonnen- und Wärmeschutzsysteme einzusetzen, ohne dass diese Umwelteinflüssen ausgesetzt sind, wodurch neben funktionalen Vorteilen das Spektrum denkbarer Materialien und Komponenten für diese Systeme deutlich erweitert werden kann.[28]

Die Ausbildung zur Doppelfassade kann sich als sinnvolle Maßnahme bei der Sanierung eines Bestandsgebäudes erweisen. Hier liefert die zweite Haut den Witterungsschutz und erlaubt eine zeitgemäße Gestaltung der Fassade. Doppelschalige Fassaden sind immer dann sinnvoll, wenn Gebäude hohen Belastungen durch Außenlärm oder Wind ausgesetzt sind.[29]

[25] BauNetz Media GmbH
[26] Lang, W. (2000); „Typologische Klassifikation von Doppelfassaden und experimentelle Untersuchung von dort eingebauten Lamellensystemen aus Holz zur Steuerung des Energiehaushaltes hoher Häuser unter besonderer Berücksichtigung der Nutzung von Solarenergie“
[27] BauNetz Media GmbH
[28] Lang, W. (2000); „Typologische Klassifikation von Doppelfassaden und experimentelle Untersuchung von dort eingebauten Lamellensystemen aus Holz zur Steuerung des Energiehaushaltes hoher Häuser unter besonderer Berücksichtigung der Nutzung von Solarenergie“
[29] Oesterle, Lieb, Lutz, Heusler (1999); „Doppelschalige Fassaden - Ganzheitliche Planung“

Ausführung:

- Kastenfenster
- Schacht-Kasten-Fassade
- Korridorfassade
- Mehrgeschossfassade

Abb. 13: Bürogebäude in Kassel (eigene)

Typische Mängel und Schäden an der Gebäudehülle

Die Hülle eines Gebäudes ist stetig äußeren Umweltbedingungen (z.B. Wind, Regen) ausgesetzt und weist dem Verschleiß unterworfene Bedienelemente auf, die einer ständigen Wartung bedürfen. Die Lebensdauer der verwendeten Fassadenmaterialien ist demnach begrenzt. Heute existieren zahlreiche Schadensbilder im Gebäudebestand, welche sich nicht zuletzt an einem mangelnden Erscheinungsbild des Gebäudes ablesen lassen. Neben der ohnehin häufig notwendigen Verbesserung des Wärmeschutzes vieler Bestandsgebäude wird aufgrund dieses Umstandes der Bedarf der Sanierung bzw. Modernisierung zusätzlich verstärkt.

Abbildung 9 zeigt beispielhaft die mittleren Lebenserwartungen von Materialien unter Anwendung im Fassadenbereich. Diese ist unter anderem von den Bauteileigenschaften, der Ausführungsqualität, der Stärke der Beanspruchung sowie der Instandhaltung beeinflusst. Aus diesem Grund wird die Lebenserwartung mit „von-bis-Werten“ angegeben, die mittlere Lebenserwartung kann für eine Bewertung als Orientierung angesetzt werden.

Material	Lebenserwartung (Jahre)	Mittlere Lebens-erwartung (Jahre)
Beton, bewehrt, bewittert	60 - 80	70
Naturstein, bewittert	60 - 250	80
Ziegel, Klinker, bewittert	80 - 150	90
Beton, Betonstein, Ziegel, Kalksandstein, bekleidet	100 - 150	120
Leichtbeton, bekleidet	80 - 120	100
Verfugung, Sichtmauerwerk	30 - 40	35
Stahl	60 - 100	80
Weichholz, bewittert	40 - 50	45
Weichholz, bekleidet, Hartholz, bewittert	60 - 80	70
Hartholz, bekleidet	80 - 120	100

Abb. 14: Lebenserwartung bestimmter Materialien unter Anwendung im Fassadenbereich (Quelle: Initiative „Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen“)

Nachfolgend werden im Nichtwohngebäudebestand üblicherweise vorzufindende Fassadenmaterialien und die Mängel bzw. Schäden dazu beispielhaft vorgestellt:

Beton und Stahlbeton

Beton ist äußerst widerstandsfähig, leicht zu verarbeiten, problemlos verfügbar sowie, in der Verbindung mit Stahl, hoch belastbar. Aus diesem Grund findet das Material besonders in Verbindung mit Tragwerken weite Verbreitung und eröffnet durch seine plastische Formbarkeit Wege zu neuen Konstruktionsweisen.

Auch in der Fassadengestaltung bestehen vielfältige Einsatzmöglichkeiten, es existiert ein reichhaltiges konstruktives und gestalterisches Repertoire von großformatigen Platten bis hin zu kleinen Steinen. Unter anderem lassen sich fünf wesentliche gestalterische Einsatzmöglichkeiten unterscheiden[30]:

- Sichtbetonfassade
- Fertigteil
- Betonwerksteinplatte
- Sichtmauerstein
- Zementgebundene Platte

Viele Altbauten weisen an ihren Sichtbetonoberflächen der Fassade Schäden auf, für die es verschiedene Ursachen geben kann. Diese können unter anderem durch Ausführungsschäden wie beispielsweise schlecht rezeptierten oder schlecht verdichteten Beton entstehen. Folgen sind eine ungleichmäßige Struktur der Be-

[30] Herzog, T. ; Krippner, R.; Lang, W. (2004); „Fassaden Atlas“

tonoberfläche oder Festigkeitsminderungen, die zu Ausbrüchen oder Rissen führen können.

Spannungsrisse treten häufig infolge unzureichender Vorbereitung der Bauwerksbewegung auf, wenn Dehnungsfugen und Fugenbreiten in der Planung unterlassen oder falsch ausgelegt werden, was bei Bestandsgebäuden häufig der Fall sein kann. Sie entstehen durch innere Spannungen und äußere Kräfte, die auf das Betonbauteil einwirken. Risse weisen darauf hin, dass an dieser Stelle die Festigkeit oder das zulässige Maß an Verformbarkeit des Stoffes überschritten ist.[31]

Ein weiteres, häufig auftretendes Problem im Zusammenhang mit der Bearbeitung von Stahlbeton besteht in der zu geringen Überdeckung des Bewehrungsstahls durch den Beton. Die daraus resultierende Korrosion des Stahls führt zur Absprengung der Betondeckung. Um dies zu vermeiden, sollte der Stahl mindestens 35 mm unter der Oberfläche liegen. Allerdings können auch aggressive Abgase in der Atmosphäre aus Industrie oder Verkehr die Korrosion oberflächlicher Bewehrungseisen beschleunigen.

Ein gut verarbeiteter Beton bedarf im Normalfall keines zusätzlichen Schutzes. Er unterliegt allenfalls einer mehr oder weniger starken Schmutzbelastung oder auch partiellen Kalkausblühungen. Ist er ausreichend dicht und die Wanddicke nicht zu gering, besteht keine Gefahr der Korrosion des Bewehrungsstahls. Werden dennoch Mängel oder Schäden festgestellt, müssen diese durch zusätzliche Schutzmaßnahmen wie Anstriche oder Beschichtungen nachgebessert werden, um tiefgreifende Instandsetzungsmaßnahmen zu vermeiden.

Viele Ziegelsplitt-Betonarten der 50er-Jahre weisen aufgrund ihrer ungenügenden Dichtigkeit einen mangelnden Widerstand gegen chemische Belastungen auf. Hier ist es notwendig, Stahl und Beton zu schützen, sodass weitere Korrosionen nicht den Rest der Bewehrung zerstören, ansonsten wäre die Standsicherheit des Gebäudes gefährdet.[32]

Putz

Häufig sind an Putzfassaden von Bestandsgebäuden Risse zu erkennen. Diese treten auf, wenn die Zugfestigkeit des Putzes durch Beanspruchung überschritten wird. Rissbildungen können bereits infolge von handwerklichen Fehlern beim frischen Putzauftrag entstehen, neben Ausführungsfehlern kann es sich aber auch um Mischungsfehler und falsche Rezepturen der Mörtel handeln. Häufig ist auch ein schadhafter Putzuntergrund die Ursache für Putzrisse, nämlich Risse im Mau-

[31] Dorsemagen, D. (2004); „Büro- und Geschäftshausfassaden der 50er Jahre – Konservatorische Probleme am Beispiel West-Berlin“

[32] Dorsemagen, D. (2004); „Büro- und Geschäftshausfassaden der 50er Jahre – Konservatorische Probleme am Beispiel West-Berlin“

erwerk selbst, die durch Setzung, thermische Spannung, Schwinden des Mauermörtels oder Deformation entstehen können.[33]

Grundsätzlich neigt jede Putzoberfläche zu Haarrissen. Diese sehr feinen Risse stellen aber keine Schäden dar und leiten in der Regel auch keinen Verfall ein.[34] Großflächige Putzabplatzungen hingegen sind Schäden, die auf das Ende der Lebensdauer des Putzes hinweisen. Sie können beispielsweise auftreten, wenn ein mineralischer Putz ohne besondere Vorkehrungen auf die glatte Wandoberfläche aufgetragen wurde.

Des Weiteren entstehen Putzabplatzungen häufig im Zusammenhang mit Feuchteschäden: Das in den Poren des Putzes auftretende Wasser schwächt bei Frost das Putzgefüge durch seine Volumenvergrößerung, wodurch der Putz großflächig abplatzen kann. Mit Feuchteschäden gehen häufig auch Salzschäden einher, denn eingedrungene Feuchte löst bauschädliche Salze, die im trockenen Zustand keine Schäden verursachen würden, im gelösten Zustand aber Abplatzungen und Verfärbungen hervorrufen können.[35]

Vermörtelte Fassadenverkleidung

Aufgrund der unterschiedlichen Materialeigenschaften von Fassadenbekleidung und Untergrund treten bei vielen Fassaden mit im kraftschlüssigen Verbund angemörtelten Bekleidungsmaterialien Schäden auf. Ursache hierfür sind große Temperaturunterschiede sowie Kriechen und Schwinden des Baustoffes. Fassadenbekleidungen sind meist verschiedenen thermischen, feuchtigkeitstechnischen und statischen Beanspruchungen ausgeliefert. Mangelhaft ausgeführte oder zu wenige Gebäudetrennfugen in der Bekleidung beispielsweise führen zu starken Spannungen und in ihrer Folge zu Rissen. Des Weiteren wurden Anschlüsse an andere Baustoffe in der Vergangenheit häufig nicht durch Fugen getrennt.[36]

Risse in der Bekleidung stellen bei Schlagregen eine besondere Schadensquelle dar, da das eindringende Wasser wegen der meist diffusionsdichten Bekleidungselemente nur schwer wieder verdunsten kann. Auf der einen Seite kann dies zu einer Durchfeuchtung der dahinter liegenden Wand und somit zur Minderung der Wärmedämmwirkung führen, des Weiteren sprengt das eingedrungene Wasser sobald es gefriert aufgrund seiner Volumenzunahme die Bekleidung aus dem Mörtelbett.[37]

[33] Maier (2009): „Energetische Sanierung von Altbauten."
[34] Dorsemagen, D. (2004); „Büro- und Geschäftshausfassaden der 50er Jahre – Konservatorische Probleme am Beispiel West-Berlin"
[35] Maier (2009); „Energetische Sanierung von Altbauten."
[36] Dorsemagen, D. (2004); „Büro- und Geschäftshausfassaden der 50er Jahre – Konservatorische Probleme am Beispiel West-Berlin"
[37] Dorsemagen, D. (2004); „Büro- und Geschäftshausfassaden der 50er Jahre – Konservatorische Probleme am Beispiel West-Berlin"

Soll eine vermörtelte Fassadenverkleidung nach einer wärmetechnischen Sanierung rekonstruiert werden, sollten Dehnfugen alle 3-6 Meter vorgesehen werden. Bei direkter Anordnung auf wärmedämmenden Bauteilen ist der Temperaturunterschied noch höher, weshalb sich die Anbringung der Bekleidung auf einer hinterlüfteten Fassade empfiehlt, denn die Hinterlüftung der Fassade ermöglicht eine ungehinderte Temperaturdehnung.[38]

Metalle

Metallische Baustoffe wurden vielfach für die Verkleidung von Stützen oder Brüstungen eingesetzt und galten vor allem bei Leichtbauweisen wie den Vorhangfassaden als beliebtes Verkleidungsmaterial. Die Risiken, welche die Lebenserwartung von metallischen Bauteilen mindern können, sind überwiegend in der Korrosion der Materialien zu suchen, die zur Zerstörung der Oberflächen führt.

Verschiedene Baumetalle weisen ein unterschiedliches Korrosionsverhalten auf: Von den im Baubereich verwendeten Materialien wie Stahl, Aluminium, Zink, Kupfer, Bronze und Messing sind Bronze und Kupfer am beständigsten, während Messing und Stahl schneller korrodieren. Um die Materialien vor Korrosion zu schützen, wurde frühzeitig damit begonnen, dieser mit bestimmten Maßnahmen wie beispielsweise wasserabweisenden Anstrichen entgegenzuwirken. Dennoch kommt es häufig zu Korrosionen an metallischen Bauteilen. Die Ursachen hierfür liegen entweder in handwerklichen Fehlern oder in der Verwendung von ungeeigneten Schutzmaterialien, häufig auch in der Nichteinhaltung von Instandsetzungsperioden.[39]

Gefahrbringende Baustoffe

Neben den vorzufindenden Schadensbildern können auch gefahrbringende Baustoffe die Notwendigkeit einer Sanierung verstärken. Dies trifft sowohl für den Innenraum als auch für die Außenhaut eines Gebäudes zu. Auf gefährdende Materialien und Baustoffe in Innenräumen wird hier jedoch nicht weiter eingegangen, da diese Thematik zu umfassend wäre.

Eine prägende Baustoffgruppe, die im Außenbereich eingesetzt wurde, stellen asbesthaltige Faserzementprodukte dar, da dies bei Nichtwohngebäuden häufig anzutreffen ist.

Besonders in den 1960er und 1970er Jahren wurde Asbest als Faseranteil für zementgebundene Plattenmaterialien verschiedener Größe eingesetzt, um die Stabilität und Dauerhaftigkeit zu erhöhen. Auch die positive Eigenschaft, dass das Material nicht brennbar ist, führte zum häufigen Einsatz sowohl als Dacheindeckung, meist in Wellprofil-Platten als auch für Wandverkleidungen in unter-

[38] Riccabona, C.; Mezera, K. (2010); „ Baukonstruktionslehre 5 – Sanierung, Industriebau, Fassaden“
[39] Dorsemagen, D. (2004); „Büro- und Geschäftshausfassaden der 50er Jahre – Konservatorische Probleme am Beispiel West-Berlin“

schiedlich großen, meist glatten Plattenformaten. Dabei handelt sich um fest gebundene Asbest-Zement-Produkte, der Asbestfaseranteil liegt bei ca. 10%. Im Gegensatz zu schwach gebundenem Asbest-Zement geht von diesem nur eine eher geringe Gefahr der Kontamination mit Asbestfasern aus, solange das Material unberührt bleibt. Werden jedoch Arbeiten am Baustoff vorgenommen, durch die sich einzelne Fasern lösen können (z.B. schleifen, schneiden, bohren etc.) steigt auch die Gefahr, da die lungengängigen Asbestfasern als krebserregend eingestuft werden.

Für die Entsorgung gelten somit festgelegte technische Regeln, die als Schutzmaßnahme berücksichtigt werden müssen[40].

Die Herstellung und Verwendung von asbesthaltigen Baustoffen wurde zwar immer weiter eingeschränkt, ein Herstellungsverbot wurde jedoch erst in den 1990er Jahren eingeführt. Derzeit wird die Menge an verbauten Asbestzementplatten auf ca. 1400 Mio. m² bezogen auf Deutschland geschätzt[41]. Da durch Verwitterung der Oberflächen das Material oft ein sehr ungleichmäßiges Erscheinungsbild bekommen hat, ergibt sich meist auch aus diesem Grund ein erhöhtes Sanierungspotenzial.

Anforderungen an die Fassadensanierung

Im Wesentlichen bilden Fassaden die Trennschicht zwischen innen und außen. Somit dienen sie dem Schutz vor äußeren Umwelteinflüssen (z.B. Wetterschutz, Schallschutz, Sonnenschutz, etc.). Außerdem besitzen sie weitere Funktionen wie beispielsweise die Gewährleistung des ausreichenden Lichteinfalls, des Luftaustauschs oder auch die Herstellung von Blickbeziehungen mit der Umwelt.[42]

Des Weiteren besitzen Fassaden die Aufgabe, den Nutzern von Gebäuden ein behagliches Innenraumklima zu schaffen sowie den Energiehaushalt des Gebäudes positiv zu beeinflussen. Somit stellen sie eine wichtige Schnittstelle zwischen Innen und Außen dar. Als raumbegrenzende Bauteile sind sie zahlreichen Beanspruchungen ausgesetzt, die sich aufgrund von steigenden umweltpolitischen Vorgaben stetig erhöhen und einen starken Einfluss auf die Fassadenplanung besitzen.

Besonders wegen ihrer vielen unterschiedlichen Anforderungen, die teilweise in gegenseitiger Wechselbeziehung zueinander stehen, sollte die Sanierung einer Fassade immer einer ganzheitlichen Betrachtung unterzogen werden. Mit einer Dämmmaßnahme von außen sollte beispielsweise auch immer der gleichzeitige Fensteraustausch in Erwägung gezogen werden, da andernfalls Wärmebrücken entstehen und der natürliche Lichteinfall reduziert werden könnte.

[40] Ausschuss für Gefahrstoffe (2007); „Technische Regeln für Gefahrstoffe“ (TRGS 519)
[41] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2010); „UmweltWissen – Asbest“
[42] Herzog, T.; Krippner, R.; Lang, W. (2004); „Fassaden-Atlas“

Behaglichkeit

Anforderungen an die Behaglichkeit stellen im Nichtwohngebäudebereich ein entscheidendes Planungskriterium dar, denn das Wohlbefinden des Menschen in einem Raum hängt von einer Reihe bestimmter, auf ihn einwirkender Einflussgrößen ab.

Diese Anforderungen an die Behaglichkeit lassen sich im Wesentlichen in vier Faktoren gliedern: Die thermische, visuelle, akustische und hygienische Behaglichkeit. Auch psychologische Faktoren wie beispielsweise Materialien oder Farben sowie kulturelle Aspekte stehen mit dem Behaglichkeitsempfinden im Zusammenhang.

Ein behaglicher Aufenthalt kann von jedem Nutzer anders definiert werden, er lässt sich also nicht durch objektive Messmethoden für alle Nutzer gleichermaßen erfassen. Demnach können bei der Angabe von Faktoren, die die Behaglichkeit beeinflussen, lediglich Empfehlungen bzw. Richtwerte angegeben werden, die von jedem Nutzer anders wahrgenommen werden.[43]

Die Anforderungen an die Behaglichkeit sind sehr komplex und können sich teilweise in ihrer Wirkungsweise widersprechen. So erfordert beispielsweise die visuelle Behaglichkeit eine gewisse Transparenz des Gebäudes, die eine bestimmte Menge von Lichteinfall und die Möglichkeit des Sichtbezugs nach außen gewährleistet. Diese Transparenz wird vorwiegend durch die Integration von Glaselementen erreicht, die wiederum einen starken Einfluss auf den sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz sowie den Schallschutz besitzen. Die isolierte Betrachtung von Einzelaspekten kann demnach zur Beeinträchtigung anderer Anforderungen führen.[44]

[43] Knaack, U.; Klein, T.; Bilow, M.; Auer, T. (2007); „Fassaden - Prinzipien der Konstruktion“; Berlin

[44] Laufs, T. (2010); „Hüllkonstruktionen – Anforderungen, Einteilung und Stellenwert“; in: Innovative Fassadentechnik 09/2010, S. 6-14

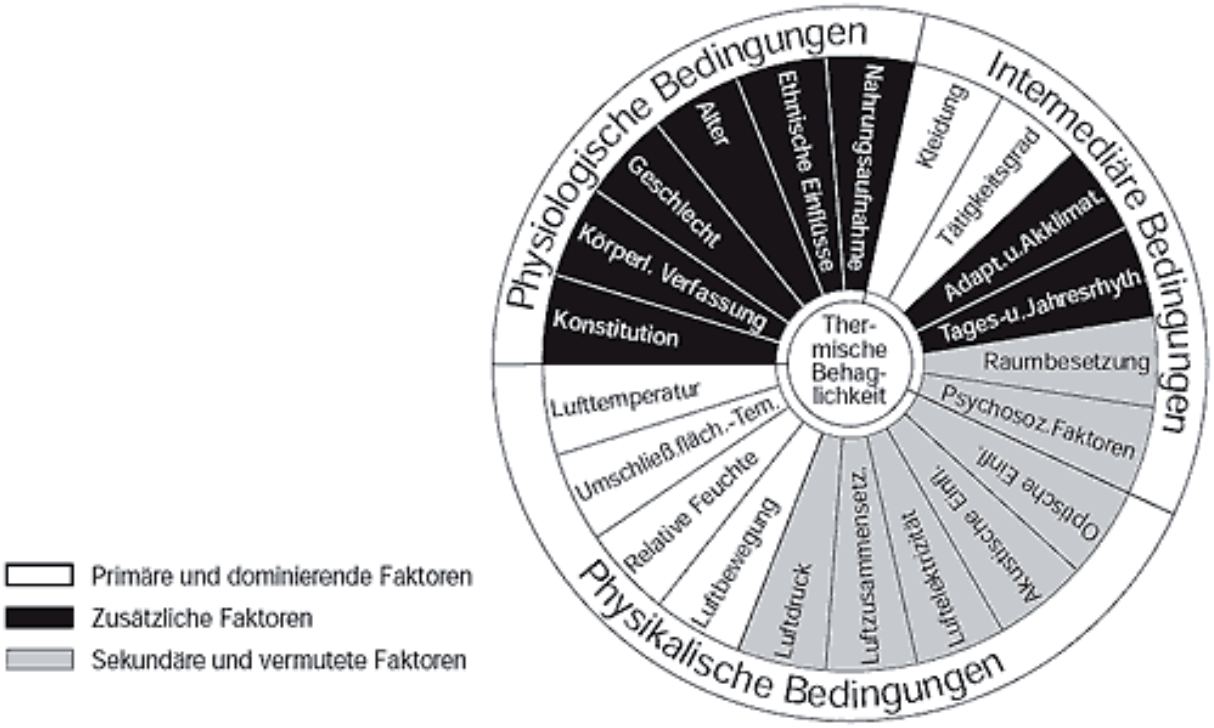


Abb. 15: Psychologische, physikalische und intermediäre Einflussgrößen auf die thermische Behaglichkeit (BetonMarketing Deutschland)

Thermische Anforderungen

Von den verschiedenen Arten der Behaglichkeit besitzt die thermische Behaglichkeit einen starken Einfluss auf den Energieverbrauch des Gebäudes. Sie wird von folgenden Einflussgrößen bestimmt, die im direkten Zusammenhang mit der Fassadenausbildung stehen:[45]

- Temperatur der Raumluft
- Relative Raumluftfeuchte
- Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen
- Luftströmungen

Für die Wahrnehmung thermischer Behaglichkeit besitzt der Mensch Temperaturfühler, sogenannte Thermorezeptoren. Dabei wird unter Kaltrezeptoren und Warmrezeptoren unterschieden, die je nach vorhandener Temperatur verstärkt ansprechen und mit entsprechenden Impulsen wie Frieren oder Schwitzen reagieren. Die thermische Behaglichkeit wird als die Abwesenheit solcher Impulse definiert.[46]

[45] Herzog, T.; Krippner, R.; Lang, W. (2004); „Fassaden-Atlas“
[46] Voss, K.; Löhnert, G.; Herkel, S.; Wagner, A.; Wambsganß, M. (2007); „Bürogebäude mit Zukunft“

Die Auswirkungen auf das Empfinden des Einzelnen hängen wiederum von dessen Bekleidung, Alter, Aktivität, Gesundheitszustand (etc.) ab.

Im Idealzustand sollten die Temperaturen der Raumumschließungsflächen einander angeglichen sein und sich von der Raumlufttemperatur nur gering unterscheiden. Zu diesen zählen die Außen- und Innenwände, der Fußboden und die Geschossdecke, die Möblierung, Heizkörper und Fensterflächen. Je größer der Abstand einer Person zu den Raumumschließungsflächen ist, desto geringer wird ihr Einfluss auf die thermische Behaglichkeit.

Die Dämmqualität bzw. der Wärmeschutz der Fassade trägt erheblich zum Energiebedarf eines Gebäudes bei, denn ein guter Wärmeschutz erhöht die raumseitigen Oberflächentemperaturen, wodurch sich die Behaglichkeit in den Innenräumen des Gebäudes deutlich verbessert und somit Betriebskosten reduziert werden können. Fassaden von Bestandsgebäuden besitzen jedoch häufig keinen ausreichenden Wärmeschutz, da die Anforderungen an diesen in der Vergangenheit zum Teil nicht klar definiert wurden und sich erst allmählich verschärften. Um den Wärmeschutz zu optimieren, bedarf es in der Regel einer Gesamtoptimierung der Fassade, d.h. sowohl der opaken Bereiche als auch der Verglasung mittels Reduzierung von Wärmeleitung, Konvektion sowie langwelligem Strahlungsaustausch. Hierfür können je nach Fassadenkonstruktion verschiedene Wärmedämmstoffe, gedämmte Rahmenkonstruktionen, Wärmeschutzverglasungen oder auch Oberflächenbeschichtungen zum Einsatz kommen.[47]

Visuelle Anforderungen

Die visuellen Anforderungen (visuelle Behaglichkeit), die an einen Raum gestellt werden, besitzen die Aufgabe, diesen Raum durch visuelle Faktoren als angenehm erscheinen zu lassen. Prinzipiell sollten Räume so gestaltet werden, dass das menschliche Auge die Umgebung schnell erfassen und ein guter Raumeindruck vermittelt werden kann.[48] Eine gute Sehleistung ist gekennzeichnet durch eine hohe Wahrnehmungsgeschwindigkeit sowie schnelles und präzises Erkennen. Voraussetzung dafür ist unter anderem eine ausreichende Beleuchtung. Sofern eine natürliche Belichtung möglich ist, sollte diese in jedem Fall genutzt werden, denn Tageslicht hat positive Auswirkungen auf das Wohlbefinden des Menschen. Zudem reduziert eine ausreichende Versorgung mit Tageslicht die Energieaufwendung für die Beleuchtung.

Auch der Sichtbezug nach außen trägt entscheidend zum Wohlbefinden sowie Konzentrationsvermögen des Menschen bei. Die Ausführung der Fassade ist demnach entscheidend für die Gewährleistung der visuellen Behaglichkeit.

Je größer der Fensterflächenanteil, desto mehr natürliches Tageslicht kann den Innenraum erreichen. Durch eine hohe Transparenz können jedoch auch schnell

[47] Herzog, T.; Krippner, R.; Lang, W. (2004); „Fassaden-Atlas“
[48] Knaack, U.; Klein, T.; Bilow, M.; Auer, T. (2007); „Fassaden - Prinzipien der Konstruktion“; Berlin

Überhitzungen und Blendungen hervorgerufen werden. Zur Gewährleistung des Sehkomforts sowie des sommerlichen Wärmeschutzes sollten aus diesem Grund geeignete Sonnen- und Blendschutzvorrichtungen bei der Planung berücksichtigt werden. Durch ein aufeinander abgestimmtes Sonnenschutz- und Tageslichtsystem könnten die Wärmelasten im Gebäude so weit reduziert werden, dass trotz effektiver Tageslichtnutzung ein angenehmes Raumklima auch in den Sommermonaten entsteht.

Akustische Anforderungen

Die akustische Behaglichkeit in Räumen wird durch von außen übertragene Geräusche, von Geräuschen innerhalb eines Gebäudes sowie von der eigenen Geräuschproduktion bzw. der „Raumantwort“ beeinflusst. Es wird zwischen Luftschall, der sich von der Quelle aus im Raum über die Luft ausbreitet und Körperschall (z.B. Trittschall), der sich über die Bauteile des Gebäudes verbreitet, differenziert. Äußere Lärmquellen können beispielsweise Baustellen oder Verkehrslärm beinhalten, im Gebäude selbst können Telefonieren, Gehen oder Musik eine Geräuschquelle darstellen. Zudem können störende Geräusche auch von technischen Anlagen (z.B. Computer) ausgehen.[49]

Hygienische Anforderungen

Die hygienische Behaglichkeit ist für die Qualität der Raumluft entscheidend und wird neben einigen anderen Faktoren durch die Qualität der Zuluft einerseits sowie durch nutzungs- und raumbedingte Verunreinigungen andererseits bestimmt. Diese Verunreinigungen können beispielsweise CO_2, Staube, Gase, Geruchsstoffe oder Bakterien darstellen.[50]

Zur Gewährleistung der hygienischen Behaglichkeit sollte ein ausreichender Luftwechsel vorhanden sein. Dieser kann entweder mittels einer natürlichen Belüftung aber auch durch Lüftungsgeräte sichergestellt werden. Durch den Einsatz von Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung könnten zudem Lüftungswärmeverluste reduziert werden.

Da im Gebäudebestand die nachträgliche Integration eines Kanalnetzes für Zu- und Abluft meist mit aufwändigen Sanierungsarbeiten verbunden ist, könnte eine mechanische Lüftung durch dezentrale, fassadenintegrierte Lüftungsgeräte realisiert werden.

Luftdichtheit

Die Luftdichtheit eines Gebäudes verhindert unkontrollierte Wärmeverluste, eine luftdichte Gebäudehülle ist demnach wichtiger Bestandteil des baulichen Wärme-

[49] Knaack, U.; Klein, T.; Bilow, M.; Auer, T. (2007); „Fassaden - Prinzipien der Konstruktion“; Berlin
[50] Knaack, U.; Klein, T.; Bilow, M.; Auer, T. (2007); „Fassaden - Prinzipien der Konstruktion“; Berlin

schutzes. Es können Zuglufterscheinungen und Schäden durch Kondensation im Bauteil vermieden werden.

Zur Messung der Luftdichtheit wird die Druckdifferenz-Messmethode angewendet, bei der mit Hilfe einer „Blower-Door“ ein definierter Unter- bzw. Überdruck von 50 Pascal erzeugt wird. Der Luftvolumenstrom wird bei geschlossenen Fenstern und Außentüren gemessen und auf das Raumvolumen bezogen. Während einer Blower-Door-Messung können im Gebäude vorhandene Leckagen mittels eines Luftgeschwindigkeitsmessgeräts ausfindig gemacht werden.

Feuchteschutz

Ein wirksamer Feuchteschutz ist die Grundvoraussetzung für die Langlebigkeit der Fassade und für ein gesundes Raumklima. Feuchte Wände führen zu Schimmel- und sonstigem Pilzbefall, der Allergien und Krankheiten verursachen kann. In Räumen mit feuchten Bauteilen ist ein behagliches Raumklima kaum erreichbar.

Zum einen stellen Wärmebrücken feuchtetechnische Schwachstellen des Gebäudes dar, da hier die Oberflächentemperaturen meist niedriger sind und somit ein erhöhtes Risiko von Tauwasser besteht. Der Tauwasserausfall innerhalb des Bauteils wird im Wesentlichen durch die Dampfdurchlässigkeit der einzelnen Komponenten bestimmt. In Mitteleuropa gilt für Konstruktionen und Ausführungen der Grundsatz: Innen dampfdichter als außen, denn so kann die im Bauteil anfallende Feuchtigkeit nach außen abgeführt werden.[51]

Die Anforderungen an den Feuchteschutz hängen auch im Wesentlichen von der Nutzung des Gebäudes ab, so stellen sich beispielsweise in Schwimmbädern grundsätzlich höhere Raumluftfeuchten ein als in Bürogebäuden. Ein ausreichender Mindestluftwechsel ist notwendig, um die im Gebäude anfallende Feuchtigkeit abführen zu können.

Brandschutz

Unter dem Begriff Brandschutz werden alle Maßnahmen verstanden, die die Brandverhütung sowie Verhinderung bzw. Verzögerung der Brandentwicklung und -ausbreitung betreffen. Grundvoraussetzungen des Brandschutzes sind die Möglichkeit der Brandmeldung sowie die Zugänglichkeit der Anlage für die Feuerwehr.

Die Brand- und Rauschschutzeigenschaften der Fassade sind hierbei entscheidend für den Brandschutz, da diese häufig die Statik übernimmt und sich über alle Etagen des Gebäudes erstreckt. Es existiert eine Vielzahl von Regelungen und Bestimmungen, die selbst innerhalb Deutschlands je nach Bundesland voneinander abweichen können. Bezüglich der Gewährleistung des ausreichenden

[51] Knaack, U.; Klein, T.; Bilow, M.; Auer, T. (2007); „Fassaden - Prinzipien der Konstruktion“; Berlin

Brandschutzes kommen die Landesbauordnung, Vorschriften der Gewerbeaufsichtsämter, der Bauaufsicht, des Technischen Überwachungsvereins sowie die allgemeinen DIN und VDE-Vorschriften zum Tragen.[52]

Bei der Dämmmaßnahme eines Gebäudes ist grundsätzlich auch der Brandschutz zu berücksichtigen, denn unter Verwendung bestimmter Materialien kann dieser unter Umständen nicht mehr gewährleistet werden. Aus diesem Grund sollte sich bei der Planung einer Sanierungsmaßnahme in jedem Fall mit dem Brandverhalten der eingesetzten Baustoffe auseinandergesetzt werden.

Zukünftig erfolgt die Klassifizierung von Baustoffen nach ihrem Brandverhalten ausschließlich nach der im Juni 2002 herausgegebenen europäischen Norm DIN EN 13501-1, das bisherige Klassifizierungssystem nach DIN 4102 darf derzeit übergangsweise gleichberechtigt weiterbenutzt werden. Eine eindeutige Zuordnung der europäischen Klassifizierungen nach DIN EN 13501-1 zu den Klassen nach DIN 4102-1 ist aufgrund der unterschiedlichen Prüfkriterien in vielen Fällen nur bedingt möglich.

Das Brandverhalten nach DIN EN 13501-1 wird durch entsprechende Hinweise zur Rauchentwicklung und zum Abtropfen der Baustoffe weiter spezifiziert. Es sind jeweils drei s-Klassen (Smoke) für die Rauchentwicklung sowie drei d-Klassen (Droplets) für das brennende Abtropfen bzw. Abfallen eines Baustoffes festgelegt:[53]

s1= keine Sichtbehinderung durch Rauchentwicklung

s2= Sichtbehinderung durch Rauchentwicklung

s3= starke Sichtbehinderung durch Rauchentwicklung

d0= kein brennendes Abtropfen oder Abfallen

d1= brennendes Abtropfen oder Abfallen von max. 10 Sekunden während der Prüfdauer von 10 Minuten Beflammung

d2= brennendes Abtropfen oder Abfallen von mehr als 10 Sekunden während der Prüfdauer von 10 Minuten Beflammung

Schallschutz

Der Schallschutz stellt besonders hohe Anforderungen an die Planung, da eine Schallübertragung schon über minimale Schallbrücken stattfinden kann. Die wesentlichen Anforderungen an den Schallschutz sind in der DIN 4109 geregelt.

[52] Herzog, T.; Krippner, R.; Lang, W. (2004); „Fassaden-Atlas“

[53] Ettrich, M.; Hauser, G.; Hoppe, M. (2010); „Modernisierungsempfehlungen im Rahmen der Ausstellung eines Energieausweises“

Werden die in dieser Norm aufgeführten Grundsätze und Ausführungsanweisungen beachtet, ist nach Bauordnungsrecht der geschuldete Mindestschallschutz gewährleistet.

Nach dieser Norm werden jedoch lediglich die Mindestanforderungen an den Schallschutz eingehalten, sie bildet demnach auf einer Skala möglicher Schallschutzqualitätsniveaus das untere Ende.

Zentrum für Umweltbewusstes Bauen

UNIKASSEL VERSITÄT

Fraunhofer IBP

Leitfaden - Dezember 2012

Leitfaden für abgestimmte Modernisierungsempfehlungen bei Nichtwohngebäuden unter besonderer Berücksichtigung der Fassade

Forschungsnehmer: Universität Kassel

Prof. Dr.-Ing. Anton Maas

Fachgebiet Bauphysik

Gottschalkstraße 28a

34109 Kassel

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Nadine Krüger

Dipl.-Ing. Wiebke Kirchhof

Dipl.-Ing. Swen Klauß

Dipl.-Ing. Kirsten Höttges (IBP)

Begleitende Arbeitsgruppe

BV Flachglas e.V.

Mülheimer Straße 1, 53840 Troisdorf

BV Rollladen + Sonnenschutz e. V.

Hopmannstraße 2, 53177 Bonn

Verband Fenster + Fassade

Walter-Kolb-Straße 1-7, 60594 Frankfurt a.M.

Bearbeitungszeitraum

15.7.2011 bis 15.9.2012

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

Die Verantwortung liegt beim Autor.

(Aktenzeichen: SF - 10.08.18.7-11.12)

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

2 Fassadentypen und -merkmale, Begriffsdefinition **5**
2.1 Tragende, massive Fassadenkonstruktionen 6
2.2 Skelettartige Fassadenkonstruktionen 6
2.3 Vorhangfassade 7

3 Beschreibung der nutzungsspezifischen Merkmale der untersuchten Gebäudetypen **8**
3.1 Bürogebäude 8
3.2 Schulen 9
3.3 Sportstätten 9
3.4 Hotels 10

4 Anforderungen an die Behaglichkeit **11**
4.1 Thermische Behaglichkeit 11
4.2 Visuelle Behaglichkeit 13
4.3 Akustische Behaglichkeit 14
4.4 Hygienische Behaglichkeit 15
4.5 Normen und Richtlinien 16
4.5.1 Thermische Behaglichkeit 16
4.5.2 Visuelle Behaglichkeit 17
4.5.3 Akustische Behaglichkeit 18
4.5.4 Hygienische Behaglichkeit 18

5 Winterlicher Wärmeschutz **20**
5.1 Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz 20
5.2 Grundlegende Sanierungsstrategien 22
5.2.1 Instandsetzung 22
5.2.1.1 Außendämmung 22
Wärmedämmverbundsystem 22
Vorgehängte, hinterlüftete Fassade 23
Transparente Wärmedämmung 24
Vakuumisolationspaneele 24
Innendämmung 25
Kerndämmung 26
5.2.2 Rückbau, Austausch und Neuerrichtung 26
5.2.2.1 Sanierung einschaliger Vorhangfassaden 27
5.2.2.2 Fensteraustausch 28
5.3 Betrachtung der übrigen baulichen Aspekte der Gebäudehüllfläche 29
5.3.1 Dachsanierung 29

5.3.1.1 Flachdach 29
5.3.1.2 Steildach 30
5.3.2 Dämmung der obersten Geschossdecke 31
5.3.3 Dämmung der Kellerdecke 32
5.4 Berücksichtigung angrenzender Bauteile bzgl. ihrer Wärmebrückenwirkung 33
5.5 Normen und Richtlinien 34
5.5.1 Winterlicher Wärmeschutz 34
5.5.2 Instandsetzung 36
5.5.3 Rückbau, Austausch, Neuerrichtung 37
5.5.4 Betrachtung der übrigen Bauteile der Gebäudehüllfläche 38
5.5.5 Wärmebrücken 39

6 Sommerlicher Wärmeschutz 40
6.1 Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz 40
6.1.1 Nachweisverfahren zum sommerlichen Wärmeschutz 41
6.1.2 Allgemeine Randbedingungen: Klimaregionen und Speichermasse 41
6.1.3 Verfahren Sonneneintragskennwerte [EDIN4108-2] 43
6.2 Begrenzung des Energieeintrages 48
6.2.1 Optimierung des Glases 48
6.2.2 Potentiale von Sonnen- und Blendschutzvorrichtungen 49
6.2.2.1 Sonnenschutzsysteme 49
Außenliegender Sonnenschutz 50
Innenliegender Sonnenschutz 50
Zwischen den Scheiben des Isolierglases angeordneter Sonnenschutz 51
6.2.2.2 Blendschutzsysteme 51
6.2.2.3 Tageslichtlenksysteme 51
6.3 Wärmeabfuhr 52
6.3.1 Arten der freien Lüftung 52
6.3.2 Nachtlüftung 52
6.3.3 Phase-Change-Materials (PCM) 53
6.4 Normen und Richtlinien 54
6.4.1 Sommerlicher Wärmeschutz 54
6.4.2 Begrenzung des Energieeintrages 54
6.4.3 Wärmeabfuhr 55

7 Anlagentechnische Maßnahmen 56
7.1 Fassadenlüftungssysteme 56
7.1.1 Lüftungsgeräte mit PCM-Einsatz 58
7.1.2 Lüftungsgeräte mit integrierter Wärmepumpe 58
7.1.3 Fassadendämmung mit integrierter Luftführung 58

7.2 Aktive Energiegewinnung über die Fassade 59
7.2.1 Photovoltaik 60
7.2.2 Solarthermie 60
7.3 Integration dezentraler Systeme in das technische Gebäudemanagement 61
7.4 Normen und Richtlinien 64
7.4.1 Lüftungssysteme 64
7.4.2 Aktive Energiegewinnung 65
7.4.3 Integration dezentraler Systeme in das technische Gebäudemanagement 65

8 Weitere Anforderungen 67
8.1 Feuchteschutz 67
8.2 Luftdichtheit 68
8.3 Schallschutz 69
8.4 Brandschutz 70
8.5 Normen und Richtlinien 72
8.5.1 Feuchteschutz 72
8.5.2 Luftdichtheit 73
8.5.3 Schallschutz 73
8.5.4 Brandschutz 74

9 Maßnahmenkatalog 77
9.1 Informationsquellen 77
9.2 Untersuchte Ausgangsfälle 77
9.3 Lesehilfe Maßnahmenblätter 79
9.3.1 Kennwerte des baulichen Wärmeschutzes 80
9.3.2 Kennwerte der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen 82
9.4 Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen 84
9.5 Übersicht 84

10 Literaturverzeichnis 239

1 Einleitung

Die Gestaltung und der konstruktive Aufbau der Gebäudehülle resultieren aus einer Vielzahl von Einflüssen bzw. Vorgaben wie architektonisches Erscheinungsbild, Standsicherheit oder der Nutzung eines Gebäudes. In den vergangenen Jahrzehnten trat immer mehr die Notwendigkeit in den Vordergrund klimatische Verhältnisse bereits in der Gebäudeplanung zu berücksichtigen. Dies zum einen, um Komfort und Gesundheit, sprich Schaffung guter hygienischer Verhältnisse in Aufenthaltsräumen sicherzustellen; daraus folgten Forderungen nach einem Mindestwärmeschutz. Vor dem Hintergrund der Umweltproblematik, die mit der Verbrennung fossiler Energieträger einhergeht, sowie der offensichtlichen Verknappung von Energiereserven trat darüber hinaus der Aspekt der Energieeinsparung und die damit verbundenen Anforderungen an die bauphysikalische und anlagentechnische Qualität der Gebäude in den Vordergrund.

Mit der Schaffung eines guten Wärmeschutzes im Neubau wie im Gebäudebestand gehen flankierende Effekte einher. Infolge eines verbesserten Wärmeschutzes steigt die raumseitige Oberflächentemperatur von Bauteilen und damit die thermische Behaglichkeit im Raum. Kalte Oberflächen erzeugen das Gefühl von Zugerscheinungen, da ein höherer Strahlungsaustausch mit den warmen Körperoberflächen einsetzt. Häufig wird zum Ausgleich die Raumlufttemperatur vom Nutzer angehoben, was für ein gesundes Raumklima und die Energieeinsparung nachteilig ist. Auch eine Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens wird erreicht. Weiterhin wird durch wärmeschutztechnische Maßnahmen zumeist eine Substanzerhaltung erzielt (z.B. Schutz der Tragkonstruktion vor thermischen Einflüssen oder verringerte feuchtetechnische Belastung von erdreichberührten Bauteilen). Bei denkmalgeschützten Bestandsgebäuden wird die Sicherstellung der Nutzbarkeit solcher Gebäude gefördert. Anlagentechnische Maßnahmen fördern den Komfort in Aufenthaltsräumen z.B. durch die Vorerwärmung von Außenluft bei Einsatz von Wärmerückgewinnungseinrichtungen in Lüftungsanlagen oder die Verbesserung der Luftqualität, die bedarfsorientiert durch solche Anlagen bereitgestellt werden kann. Auch die Nutzung erneuerbarer Energien am Gebäude oder in unmittelbarer Nähe des Gebäudes rückt immer mehr in den Vordergrund.

Angesichts des enormen Energieeinsparpotenzials im Gebäudebestand, das auf einer großen Anzahl unsanierter oder nur teilsanierter Gebäude beruht, ist die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen bei Altbauten die wichtigste Bauaufgabe der Zukunft. Der diesbezüglich geltende rechtliche Rahmen wird EU-weit über die Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) vorgegeben. Mindestanforderungen an die energetische Qualität von Sanierungsmaßnahmen, Anforderungen hinsichtlich der regelmäßigen Inspektion von technischen Einrichtungen und die Forderung zur Einrichtung geeigneter Förder- und Anreizprogramme sind in der EPBD in aktueller Fassung von 2010 formuliert. Ebenso wird, in Fortschreibung der EPBD aus dem Jahre 2002, die Erstellung eines Energieausweises im Falle der Errichtung, dem Verkauf oder der Vermietung eines Gebäudes verbindlich vorgegeben. Neu ist die Anforderung, dass bei jeder Ausstellung eines Energieausweises für ein Bestandsgebäude Modernisierungsempfehlungen beigefügt werden müssen. Diese Empfehlungen sind sowohl für umfassende Sanierungsmaßnahmen als auch für einzelne bauliche oder anlagentechnische Maßnahmen zu treffen. Die Maßnahmen müssen energetisch sinnvoll und technisch sowie kosteneffizient umsetzbar sein.

An diesem Punkt setzt der vorliegende Leitfaden an. Beispielhaft werden für die Gebäudenutzungen Büro, Hotel, Schule und Turnhalle

- die Wirkung von Energieeffizienzmaßnahmen mit dem Schwerpunkt der Gebäudefassade aufgezeigt,
- die Wirkung flankierender Effekte, wie z.B. Schallschutz oder Luftqualität, dargestellt sowie

- Planungs- und Ausführungshinweise, die im Zusammenhang mit einer Sanierungsmaßnahme zu beachten sind, gegeben.

Im Wesentlichen gliedert sich der Leitfaden in zwei Teile: Zum einen entsteht eine Art Katalog, in dem für bestimmte Bauteile Modernisierungsempfehlungen kompakt und übersichtlich abgebildet werden, des Weiteren ein vorangestellter, allgemeiner Teil, in dem diese Empfehlungen näher erläutert und inhaltlich vertieft werden.

Energieberater und Planer erhalten im ersten Teil des Leitfadens einen Überblick über grundlegende Anforderungen an den Wärmeschutz im Winter und im Sommer, anlagentechnische Möglichkeiten der Fassadensanierung, feuchte-, brand- und schallschutztechnische Aspekte sowie Informationen zur Luftdichtigkeit von Gebäuden. Darüber hinaus werden Hinweise auf für das jeweilige Thema relevante Normen und Richtlinien gegeben. Am Ende eines jeden Kapitels werden diese erneut aufgegriffen und ihr Inhalt stichpunktartig erläutert.

Die Modernisierungsempfehlungen im zweiten Teil des Leitfadens können u.a. beim bedarfsorientierten Energieausweis zur Beschreibung der bau- und anlagentechnischen sowie gestalterischen Aspekte und darüber hinaus beim verbrauchsorientierten Energieausweis zur Darstellung der möglichen Energieeinsparung infolge Einzelmaßnahmen oder Kombinationen solcher und deren Wirtschaftlichkeit herangezogen werden.

Leitfaden für abgestimmte Modernisierungs-empfehlungen bei Nichtwohngebäuden unter besonderer Berücksichtigung der Fassade

Leitfaden - Allgemeiner Teil

2 Fassadentypen und -merkmale, Begriffsdefinition

Im Nichtwohngebäudebestand existiert eine Vielzahl an gängigen Fassadensystemen, die sich in Bezug auf ihre Gestalt durch Art und Gliederung bzw. Anordnung der Öffnungen und opaken Teilen unterscheiden. Grundsätzlich lassen sich zwei wesentliche Fassadentypen differenzieren; tragende und nicht tragende Fassaden. Sowohl tragende als auch nicht tragende Fassaden müssen eine Reihe von einwirkenden Lasten (z.B. Eigenlast, Windlast, Schnee- und Eislast, etc.) sicher aufnehmen und ableiten können, die tragende Außenwand hat darüber hinaus in der Fassadenebene die Standsicherheit des Gebäudes zu gewährleisten.

Innerhalb einer Fassadenkonstruktion können drei konstruktive Bereiche definiert werden (Bild 1).

Bei nicht tragenden Fassaden bildet die Primärstruktur das Haupttragwerk des Gebäudes, sie übernimmt die tragende Funktion und leitet die an der Fassade entstehenden Lasten in die Fundamente weiter.

Übertragen werden diese Lasten durch die Sekundärstruktur, die die Tragstruktur der Fassade selbst bildet. An dieser Schnittstelle müssen unterschiedliche Bewegungen von Rohbau und Fassade ausgeglichen werden.

Auf der Sekundärstruktur werden schließlich die flächenfüllenden Elemente wie Glas, Paneele (etc.) befestigt. Hier entsteht eine weitere Schnittstelle, die wiederum verschiedene Funktionen wie die Abdichtung gegen Feuchtigkeit oder Winddichtheit gewährleisten muss. Des Weiteren müssen die Bewegungen zwischen den Elementen und der Sekundärkonstruktion aufgenommen werden können und es sollten möglichst keine Wärmebrücken vorhanden sein.

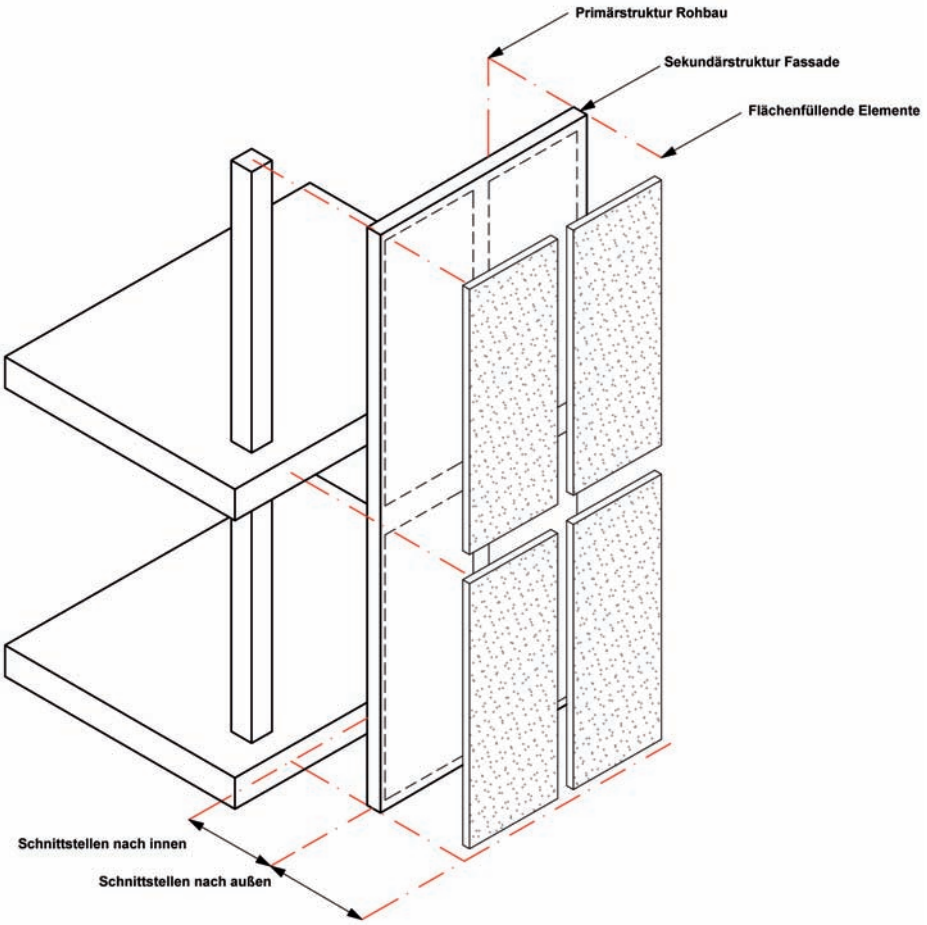
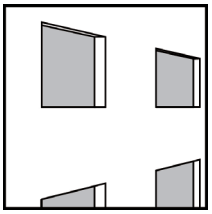


Bild 1: Konstruktive Bereiche einer Fassade [nach Knaack].

Bei tragenden, massiven Fassadenkonstruktionen stellen Primär- und Sekundärstruktur in der Regel ein Bauteil dar. In diesem Fall werden die Schnittstellen nach außen und innen auf eine einzige Ebene reduziert. Besonderheit dieser Konstruktionen ist, dass hier Teile der Fassade nicht einfach ausgetauscht werden können, da sie Bestandteil der Tragstruktur des Gebäudes sind [Knaack].

Je nach Fassadenausführung existieren unterschiedliche Sanierungsansätze. Aus diesem Grund muss bei einer geplanten Sanierung einer Gebäudefassade im Vorfeld analysiert werden, welche der Elemente zur Tragfähigkeit des Gebäudes beitragen, bzw. fest verbaut oder austauschbar sind.

2.1 Tragende, massive Fassadenkonstruktionen



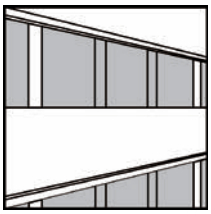
Bis 1952, also vor Einführung der DIN 4108 für den Wärmeschutz, sind Fassaden in der Regel als monolithisch massive Wandkonstruktionen (ein- oder zweischalig) oder als ein aus Schichten zusammengesetztes Bauteil mit äußerer Bekleidung ausgeführt. Massive Außenwände bestehen meist aus Mauerwerk, Natur- oder Kunststein oder können in Beton- oder Stahlbetonbauweise ausgeführt sein. Die Bekleidung mit Wetterschutzfunktion besteht aus Putz, Natursteinplatten, Zementplatten, Keramik, Metall oder Holz [Kaag].

Eine Ausführungsvariante stellt die vorgehängte, hinterlüftete Fassade dar, die nicht mit der Vorhangfassade zu verwechseln ist. Während die Vorhangfassade als „Warmfassade“ direkt vor dem Gebäudetragwerk die thermische Hüllfläche definiert, dient die vorgehängte, hinterlüftete Fassade als Wetterschutzhülle und ist von der tragenden Massivwand durch eine Luftschicht getrennt. Diese bewirkt, dass die hinter der Fassade befindliche Wand bzw. Wärmedämmung bei eventuell anfallender Feuchte abtrocknen kann.

Massive Wandkonstruktionen sind, bezogen auf ihre Gestaltung bzw. ihr Erscheinungsbild, häufig als Lochfassaden ausgeführt, d.h. ihre Fenster verteilen sich wie einzelne „Löcher“ über die homogene Fassadenfläche. Der Fensterflächenanteil von Lochfassaden ist in der Regel geringer, als der opake Fassadenanteil. Dieses Verhältnis ergibt sich aus konstruktiven bzw. statischen Gründen.

Der Wärmeschutz massiver Bestandskonstruktionen kann häufig die heutigen Anforderungen nicht mehr erfüllen, denn viele Konstruktionen weisen lediglich eine geringe oder gar keine Dämmung auf. Während die Fenster als nicht tragende Elemente ausgetauscht werden können, ist ein Rückbau bzw. Ersatz bei der Fassade selbst nicht oder nur mit einem hohen Aufwand möglich, da diese eine tragende Funktion besitzt. Auch die Vergrößerung des Fensterflächenanteils, beispielsweise aufgrund von erhöhten visuellen Anforderungen (z.B. Bürogebäude), ist bei massiv ausgeführten Fassaden nur mit einem erheblichen Aufwand zu realisieren. Eine Möglichkeit zur Sanierung besteht im Aufbringen einer zusätzlichen Dämmschicht von außen oder innen.

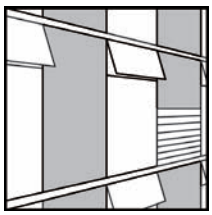
2.2 Skelettartige Fassadenkonstruktionen



Gebäude, bestehend aus einem Tragwerk von Stützen und Decken (Beton- und Stahlbetonbauweise) in der Fassadenebene werden als Stahlbeton-Skelettbauten bezeichnet. Im Unterschied zur massiven, monolithischen Außenwand gliedert sich die Fassade in tragende und ausgefachte Elemente, ähnlich dem Fachwerkbau. Die Ausfachungen der Konstruktion bestehen aus transparenten und opaken Bauteilen und Fassaden: Leichtbeton, Betonsteinwerk, Ziegelmauerwerk, Glasbausteine oder Fensterelemente. Da die Primärstruktur von skelettartigen Fassadenkonstruktionen aus in einer Ebene liegenden Stützen und Geschossdecken besteht, muss diese gute Wärmedämmeigenschaften besitzen, da aufgrund der einbindenden Bauteile Wärmebrücken resultieren.

Es existiert eine Vielzahl von möglichen Gestaltungsmerkmalen. Üblicherweise existieren durch die konstruktive Trennung von Hülle und Tragwerk größere transparente Bau-

teilflächen, häufig in Form von Bandfassaden. Die Bandfassade erhält ihren Charakter durch den Wechsel von Fenster- und Brüstungsbändern, wodurch die horizontale Gliederung der Fassade betont wird.



2.3 Vorhangfassade

Die Skelettbauweise ermöglicht die vollständige konstruktive Trennung der Gebäudehüllfläche von der Tragstruktur des Gebäudes. Die konsequente Anwendung dieses Prinzips bildet sich in der Vorhangfassade (Curtain Wall) ab. Im Unterschied zur skelettartigen Fassadenkonstruktion tritt anstelle einer Ausfachung die industriell vorgefertigte, leichte Wetterschutzhülle, die vor das Gebäudetragwerk „gehängt“ wird. Die Vorhangfassade ist ein der Primärstruktur vollständig vorgesetztes, selbsttragendes System, in welches opake und transparente Bestandteile integriert sind.

Gemäß EN 13830 [EN13830] wird eine Vorhangfassade als außenliegender Gebäudeabschluss definiert. Sie „[...] besteht in der Regel aus vertikalen und horizontalen, miteinander verbundenen, im Baukörper verankerten und mit Ausfachungen ausgestatteten Bauteilen, die eine leichte, raumumschließende ununterbrochene Hülle bilden, die selbstständig oder in Verbindung mit dem Baukörper alle normalen Funktionen einer Außenwand erfüllt, jedoch nicht zu den lastaufnehmenden Eigenschaften des Baukörpers beiträgt.“

Im Nichtwohngebäudebereich haben sich überwiegend Pfosten-Riegel-Konstruktionen sowie die Elementbauweise durchgesetzt. Die Pfosten- Riegel-Konstruktion besteht aus einem leichten Rahmentragwerk aus auf der Baustelle zusammengeführten Bauteilen und mit undurchsichtigen und/oder durchsichtigen Ausfachungen, während die Elementbauweise aus werksseitig vormontierten, komplett verglasten Einheiten besteht, welche horizontal und vertikal aneinander gekoppelt werden. Der Vorteil besteht darin, dass beim Einbau kein Gerüst erforderlich ist.

Neben den Alterungs- und Verschleißerscheinungen an beispielsweise Dichtungen und Beschlägen der Vorhangfassade sind die gestiegenen Komfortansprüche und die Notwendigkeit zur Wärmedämmung die wichtigsten Sanierungsgründe. Aufgrund der Unabhängigkeit zum Haupttragwerk des Gebäudes besteht die Möglichkeit zum Komplettaustausch der Elemente.

3 Beschreibung der nutzungsspezifischen Merkmale der untersuchten Gebäudetypen

Durch die im Nichtwohngebäudebereich vorhandene hohe Nutzungsvielfalt entwickelt sich die Notwendigkeit, die zu untersuchenden Gebäudenutzungen einzuschränken. Nachfolgend werden die nutzungsspezifischen Merkmale der für die Untersuchung relevanten Gebäudetypen sowie fassadenbezogene Sanierungsansätze beschrieben. Diese bilden im zweiten Teil des Leitfadens die Grundlage für die Berechnungen.

3.1 Bürogebäude

Besonders im Bereich der Büronutzung existieren viele Gebäude, die den heutigen energetischen Anforderungen nicht mehr entsprechen, aufgrund ihrer günstigen Lage jedoch das Entwicklungspotential für eine zukünftige Nutzung enthalten [Ebbert].

Opake und transparente Anteile der Gebäudehülle mit schlechtem Wärmeschutz im Bestand führen zu hohen Heizenergieverbräuchen im Winter und hohen Innenraumtemperaturen im Sommer. Dementsprechend nimmt Bürogebäudebereich in der Regel nicht nur die Wärmeversorgung sondern auch die Klimatisierung einen hohen Stellenwert ein. Bürogebäude ohne eine Klimatisierung weisen häufig hohe sommerliche Temperaturen auf, klimatisierte Gebäude kompensieren diese durch einen für die aktive Kühlung benötigten hohen Strombedarf. Ursache hierfür stellen unter anderem der Transparenzanteil der Bürofassaden, aber auch hohe interne Wärmelasten, im Wesentlichen durch den Betrieb elektrischer Geräte, dar. Folglich sollten für den Nutzungstyp „Büro“ Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes abgebildet werden. Primäres Ziel sollte dabei der Verzicht auf eine aktive Kühlung oder der Einsatz stromsparender Geräte sein.

Alternative Kühlmöglichkeiten stellen passive Kühlkonzepte dar, die es erlauben, mit natürlichen Wärmesenken (z.B. Erdreich), die anfallende Wärme abzuführen. Von passiver Kühlung kann ausgegangen werden, wenn zur Raumkühlung Systeme eingesetzt werden, bei denen Energie ausschließlich zur Förderung des Kühlmediums erforderlich ist. Vorausgesetzt wird eine fallspezifische Auslegung des Systems, in der Regel thermisch aktivierte Bauteile mit Nutzung eines Sohlplattenkühlers oder Erdwärmetauschers (geothermische Kühlung; kein bivalenter Betrieb mit Kältemaschinen) oder Systeme mit Kühlung über indirekte Verdunstung (monovalente Betriebsweise).

Eine weitere Maßnahme zur Reduzierung der Raumtemperaturen im Sommer stellt die Installation eines außenliegenden Sonnenschutzes dar. Durch diesen lassen sich die Wärmeeinträge, die durch die transparenten Flächen der Fassade in das Gebäude gelangen, deutlich reduzieren. Zur Gewährleistung des ausreichenden Tageslichteinfalls können zusätzliche Maßnahmen zur Lichtlenkung und Raumausleuchtung beitragen. Tageslichtlenksysteme stellen technische Einrichtungen dar, die durch Lichtreflexion, Lichtbrechung, Lichtbeugung oder deren Kombination Tageslicht in die Raumtiefe bzw. an die Decke umlenken. Auf diese Weise soll eine Reduzierung der hohen Beleuchtungsstärken in Fensternähe zugunsten einer höheren Beleuchtungsstärke in der Raumtiefe und einer besseren Gleichmäßigkeit der Raumausleuchtung erzielt werden [Volz]. Auch der Einsatz von Sonnenschutzglas kann dazu beitragen, die Raumtemperaturen zu reduzieren.

In Bürogebäuden trägt auch der durch die Beleuchtung verursachte Stromverbrauch einen bedeutsamen Anteil zum Gesamtenergieverbrauch bei. Im Zuge der Entwicklung von auf Bürogebäuden zugeschnittenen Sanierungsempfehlungen könnte dementsprechend über die Verbesserung des Wärmeschutzes hinaus die Erhöhung der visuellen Behaglichkeit sowie die ausreichende Versorgung mit Tageslicht als Sanierungsziel angestrebt werden.

Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass in Bürogebäuden ein besonderer Fokus auf den Bildschirmarbeitsplätzen und der damit verbundenen Blendfreiheit liegt. Es ist deshalb frühzeitig in die Planung einzubeziehen, ob ein separater Blendschutz ergänzend zum Sonnenschutz sinnvoll ist.

3.2 Schulen

Für Schulen sollte bei der Erstellung eines Sanierungskonzeptes neben der wärmeschutztechnischen Verbesserung der Gebäudehülle auch die Thematik der Lüftung besondere Beachtung finden, denn eine ausreichende Versorgung mit Frischluft steigert die Konzentrationsfähigkeit und ist notwendig für einen guten Lernerfolg.

Messungen in Klassenzimmern haben ergeben, dass die CO_2-Konzentration bei einer manuellen Fensterlüftung den empfohlenen Wert schon nach kurzer Zeit übersteigt. Neben der energetischen Sanierung von Fassade und Fenstern mit einer Verbesserung von Luftdichtheit und Wärmeschutz der Gebäudehülle, ist auch die Sicherstellung eines ausreichenden Luftwechsels ein unverzichtbares Planungsziel. EN 13779 sieht in Stadtzentren als Standardwert für eine niedrige Raumluftqualität eine CO_2-Konzentration von 1200 ppm über dem Gehalt der Außenluft vor. Höhere Konzentrationen führen zu Leistungsabfall, Kopfschmerzen sowie Unwohlsein [Trox].

Da die Klassenzimmer während der Nutzung sehr intensiv belegt sind und während der Nichtnutzungszeiten in der Regel leer stehen, kann sich als Sanierungsmaßnahme eine bedarfsgesteuerte Belüftung als sinnvoll erweisen. Diese kann entweder durch eine automatisierte Fensteröffnung, geeignete Lüftungsöffnungen in der Fassade oder auch dezentrale Lüftungsgeräte nachträglich realisiert werden. Durch diese Maßnahmen können die Luftqualität nachhaltig verbessert, hygienische Anforderungen erfüllt und Lüftungswärmeverluste reduziert werden.

Ähnlich wie in Bürogebäuden nimmt im Schulbereich der sommerliche Wärmeschutz einen großen Stellenwert ein. Auch hier sollten Maßnahmen zur Reduzierung der sommerlichen Raumtemperaturen ergriffen werden. Wird ein Sonnenschutz realisiert, muss in den Klassenzimmern ein ausreichender Tageslichteinfall gewährleistet sein. Ebenso notwendig ist der ausreichende Schutz vor Blendung. Durch tageslichtlenkende Systeme kann es ermöglicht werden, sowohl eine ausreichende Tageslichtversorgung in der Raumtiefe, als auch den Schutz vor Blendung von fensternahen Arbeitsplätzen zu gewährleisten. Die visuelle Behaglichkeit ist ein wesentlicher Faktor für die Aufmerksamkeit der Lernenden.

3.3 Sportstätten

Im Bereich der Sportstätten herrscht ein deutlicher Sanierungsbedarf. Als Ursachen können, neben natürlichem alters- und nutzungsbedingtem Verschleiß sowie Umwelteinflüssen, vor allen Dingen die finanzielle Mittelknappheit der Gemeinden und Städte angeführt werden. Die bundeseinheitliche Sportstättenstatistik aus dem Jahr 2002 enthält Angaben zu den meisten erhobenen Sportstättentypen. Aus den Angaben geht hervor, dass circa 70 % der Anlagen in den neuen Ländern und circa 40 % derer in den alten Ländern für sanierungsbedürftig gehalten werden. Dieser Umstand gefährdet die Funktionsfähigkeit und Attraktivität des Anlagenbestandes und wird damit immer mehr zu einem Engpassfaktor der Sportentwicklung [DSB].

Im Bereich der Sportstätten ist eine hohe Nutzungsvielfalt vorhanden, wobei im Rahmen des Leitfadens lediglich Sporthallen behandelt werden, da diese am gesamten Sportstättenbestand einen großen Anteil besitzen. Betrachtet man die einzelnen Hallentypen, so lässt sich laut Sportstättenstatistik feststellen, dass sich der große Sanierungsbedarf vor allen Dingen auf kleinere Hallen konzentriert, bei größeren Sporthallen (ab 22m x 44m) ist dieser deutlich geringer [DSB].

Im Gegensatz zu anderen Gebäudenutzungen ist der Fensterflächenanteil im Bereich der Sporthallen relativ gering, woraus ein hoher Bedarf für Kunstlicht resultiert. Dieser könnte durch eine angemessene Tageslichtnutzung reduziert werden. Glasflächen müssen entsprechende Sicherheitseigenschaften aufweisen, um den jeweiligen Anforderungen gerecht zu werden.

Auch der Anspruch an das Heizungssystem unterscheidet sich von den meisten anderen Nutzungstypen, da es sich hier um ein enormes Luftvolumen mit einer entsprechend großen Raumhöhe handelt. Dies muss bei der Planung Berücksichtigung finden um durch ein abgestimmtes Wärmeübertragungssystem behagliche Innenraumtemperaturen zu gewährleisten.

3.4 Hotels

Hotels dienen dem temporären Aufenthalt und der Verpflegung von Gästen. Um dieses zu ermöglichen benötigt ein Hotelbetrieb oftmals sehr viel Energie. Ein Großteil dieser Energie fließt in die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser. Einen entscheidenden Einfluss auf den Stromverbrauch eines Hotels besitzen zudem der Betrieb einer Küche / eines Restaurants oder eine Klimatisierung.

Trotz eines regelmäßigen Sanierungsrhythmus im Hotelbereich ist das Energieeinsparpotential groß, da der Schwerpunkt meist auf Maßnahmen gelegt wird, die den Komfort für den Gast steigern sollen. Das Thema der Energieeffizienz wird bei diesen Sanierungsmaßnahmen häufig als zweitrangig betrachtet. Dabei kann, besonders durch eine ganzheitliche Fassadensanierung, die Behaglichkeit für den Gast erheblich gesteigert werden. Unbehaglich niedrige raumseitige Oberflächentemperaturen und Zuglufterscheinungen, beispielsweise aufgrund undichter Fenster, können mit einer Fassadensanierung behoben werden.

Des Weiteren stellt im Hotelbetrieb der ausreichende Schallschutz ein wichtiges Kriterium dar. Planungsgrundlage stellt die in DIN 4109 [DIN4109] festgeschriebene Mindestanforderung für Beherbergungsstätten. Jedoch werden für Planung und Ausführung zunehmend höhere Standards als in der Norm angegeben gefordert. In DIN 4109 Bbl. 2 [DIN4109Bbl.2] wird beispielsweise für Wände zwischen Übernachtungsräumen ein minimaler Schallschutzwert von 52 dB empfohlen, der im Vergleich zur DIN 4109 um 5 dB verbessert ist. Weitere Ausführungen zum Thema Schallschutz befinden sich in Kapitel 8.3 Schallschutz.

Für Hotels wird es immer wichtiger, sich am Markt von ihrer Konkurrenz zu unterscheiden. Um ein individuelles Image zu etablieren, könnten Sanierungen dazu genutzt werden, eine Corporate-Identity zu schaffen und sich im ressourcenschonenden Umgang mit Energie besonders zu positionieren. In diesem Zusammenhang spielt die Außenwirkung einer Fassade eine besondere Rolle und kann dazu dienen, dieses Image nach außen zu tragen. Besonders im Hotelbereich bietet es sich daher an, sofern die Architektur des Gebäudes dies zulässt, optisch auffällige Sanierungsmaßnahmen anzuwenden. Dies könnten beispielsweise, neben der Verbesserung des Wärme- oder Schallschutzes, die Erweiterungen der Funktionen der Fassade auf die aktive Energiegewinnung sein.

4 Anforderungen an die Behaglichkeit

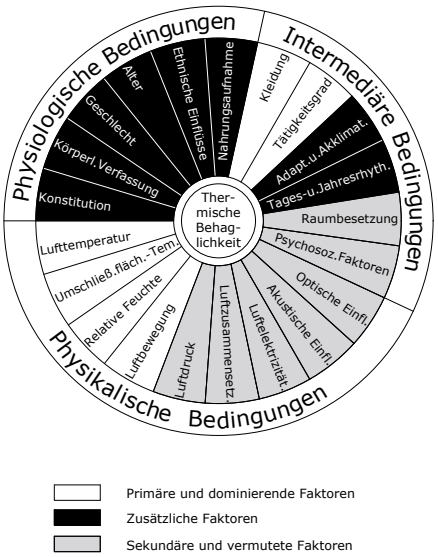


Bild 2: Einflussfaktoren auf das Behaglichkeitsempfinden des Menschen [nach Frank].

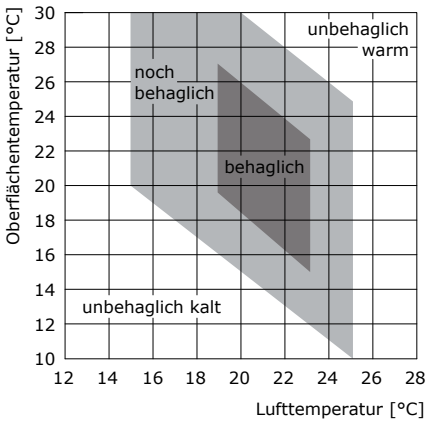


Bild 3: Behaglichkeitsbereich in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und der Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen [nach Leusden].

Ein Großteil des Lebens wird in unseren Breitengraden innerhalb der Gebäude verbracht, weshalb Anforderungen an die Behaglichkeit in Innenräumen entscheidende Planungskriterien darstellen. Bei energetischen Sanierungsmaßnahmen an einem Gebäude muss demnach ein besonderes Augenmerk auf Aspekte der Behaglichkeit gelegt werden, um im Zuge einer Sanierung nicht nur die energetische Qualität des Gebäudes zu verbessern sondern auch die Behaglichkeit positiv zu beeinflussen. Bei sach- und fachgerecht geplanten und ausgeführten Sanierungsmaßnahmen ist dieser Effekt per se erzielbar.

Das Wohlbefinden des Menschen in einem Raum hängt von einer Reihe bestimmter, auf ihn einwirkender Einflussgrößen ab. Sie lassen sich im Wesentlichen in vier Faktoren gliedern: Die thermische, visuelle, akustische sowie hygienische Behaglichkeit. Darüber hinaus stehen auch psychologische Faktoren wie beispielsweise Materialien oder Farben sowie kulturelle Aspekte mit dem Behaglichkeitsempfinden im Zusammenhang.

Ein behaglicher Aufenthalt kann von jedem Menschen anders definiert werden, er lässt sich nicht durch objektive Messmethoden für jede Person gleichermaßen erfassen. Demnach können bei der Angabe von Faktoren, die die Behaglichkeit beeinflussen, lediglich Empfehlungen bzw. Richtwerte angegeben werden, die von jedem anders wahrgenommen werden [Knaack].

Die Anforderungen an die Behaglichkeit sind sehr komplex und können sich teilweise in ihrer Wirkungsweise widersprechen. So erfordert beispielsweise aus bauphysikalischer Sicht die visuelle Behaglichkeit eine gewisse Transparenz des Gebäudes, die eine bestimmte Menge von Lichteinfall und die Möglichkeit des Sichtbezugs nach außen gewährleistet. Diese Transparenz wird vorwiegend durch die Integration von Glaselementen erreicht, die wiederum einen starken Einfluss auf den sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz sowie den Schallschutz besitzen. Die isolierte Betrachtung von Einzelaspekten kann demnach zur Beeinflussung anderer Anforderungen führen [Lenz].

4.1 Thermische Behaglichkeit

Für die Wahrnehmung thermischer Behaglichkeit besitzt der Mensch Temperaturfühler, sogenannte Thermorezeptoren. Dabei wird nach Kaltrezeptoren und Warmrezeptoren unterschieden, die je nach vorhandener Temperatur verstärkt ansprechen, entsprechende Impulse an das Hirn senden und in die Information „zu warm“ oder „zu kalt“ gewandelt werden. Die thermische Behaglichkeit wird als die Abwesenheit solcher Impulse definiert. Empfindet der Mensch einen Innenraum als behaglich, wirkt sich dies positiv auf seine Leistungsfähigkeit sowie Gesundheit aus.

Die vielen Einflussfaktoren auf das thermische Behaglichkeitsempfinden des Menschen lassen sich in drei übergeordnete Bedingungen einordnen: Physikalische, physiologische und intermediäre (Bild 2). Bisherige Untersuchungen lassen erkennen, dass innerhalb der genannten Bedingungen sechs Einflussgrößen auf die thermische Behaglichkeit primär dominierend, acht von geringerer Bedeutung sind und die übrigen sekundäre oder bisher nur vermutete Faktoren darstellen.

Im Idealzustand sollten im Innenraum die Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen untereinander angeglichen sein und sich von der Raumlufttemperatur nur gering unterscheiden (Bild 3). Zu den relevanten Flächen zählen die der Außen- und Innenwände, des Fußbodens und der Geschossdecke, der Möblierung, Heizkörper und Fenster. Je größer der Abstand einer Person zu den Raumumschließungsflächen ist, desto geringer wird ihr Einfluss auf die thermische Behaglichkeit.

Für die Bewertung der thermischen Behaglichkeit stehen unterschiedliche nationale und internationale Verfahren bzw. Normungen zur Verfügung. Eine Berechnungsmethode nach EN ISO 7730 [EN7730] berücksichtigt grundlegende Forschungsarbeiten über

das Behaglichkeitsempfinden, die Fanger verfasst hat [Fanger]. Auf der Grundlage der Wärmebilanz des menschlichen Körpers entwickelte Fanger eine integrale Kenngröße, den PMV-Index (predicted mean vote/ „vorhergesagtes mittleres Votum“), eine Größe, mit der das globale Behaglichkeitsempfinden anhand einer Skala von -3 bis 3 bewertet werden kann.

Der PPD-Index (predicted percentage of dissatisfied/ „vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen“) liefert Angaben zur thermischen Unbehaglichkeit oder Unzufriedenheit, indem der Prozentsatz an Menschen vorausgesagt wird, die ein bestimmtes Umgebungsklima wahrscheinlich als zu warm oder zu kalt empfinden. Der PPD lässt sich aus dem PMV berechnen. Anhand der beschriebenen Verfahren lässt sich der Grad der Unbehaglichkeit von Menschen voraussagen, die einem gemäßigtem Umgebungsklima ausgesetzt sind. Sie ist jedoch nur für klimatisierte Gebäude anwendbar.

Gemäß EN ISO 7730 wird zwischen allgemeiner und lokaler thermischer (Un)behaglichkeit differenziert. PMV und PPD drücken ein warmes und kaltes Unbehaglichkeitsempfinden des Körpers als Ganzes aus, thermische Unbehaglichkeit kann jedoch auch durch ein unerwünschtes Abkühlen oder Erwärmen eines bestimmten Körperteils entstehen. Die häufigsten Ursachen für lokale Unbehaglichkeit sind Zugluft, ungewöhnlich hohe vertikale Temperaturunterschiede im Bereich zwischen Kopf und Fußgelenken oder eine Asymmetrie der Strahlungstemperatur.

Bei der Empfehlung von Kriterien für das thermische Raumklima unterscheidet EN 15251 [EN15251] zwischen Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen sowie maschineller Kühlung und Gebäuden ohne maschinelle Kühlung (natürliche Lüftung). Für die Auslegung von Gebäuden mit Kühlung verweist die Norm auf EN ISO 7730. Für Gebäude ohne maschinelle Kühlung legt EN 15251 die operative Innentemperatur (θ_o) in Abhängigkeit von der mittleren Außentemperatur (θ_{rm}) fest (Bild 4). Die angegebenen operativen Temperaturen gelten überwiegend für Bürogebäude und Gebäude ähnlichen Typs. Die Norm ist weiterhin auf folgende Gebäudearten anwendbar: Einfamilienhäuser, Wohnhäuser, Bürogebäude, Schul- und Hochschulgebäude, Krankenhäuser, Hotels und Restaurants, Sporteinrichtungen, Großhandels- und Einzelhandelsgebäude.

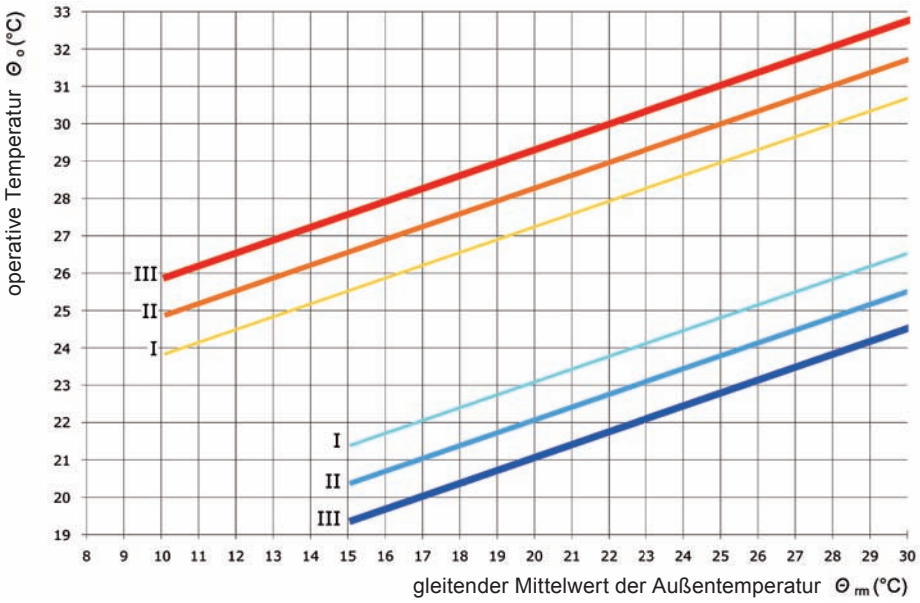


Bild 4: Zulässige Innentemperaturen (untere und obere Grenzwerte) im Sommer (Kühlperiode) für Gebäude ohne maschinelle Kühlanlagen [EN15251].

Legende:

Kategorie I:	PPD < 6 %
Kategorie II:	PPD < 10 %
Kategorie III:	PPD < 15 %

Zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit ist die Gestaltung sowohl eines sehr guten winterlichen als auch eines sehr guten sommerlichen Wärmeschutzes von wesentlicher Bedeutung. Ein unzureichender Wärmeschutz verursacht im Winter durch niedrige Oberflächentemperaturen mangelnden Komfort sowie hohe Transmissionswärmeverluste, wohingegen im Sommer solare Wärmeeinträge über transparente Bauteile zu erhöhten Raumtemperaturen beitragen. Auf diese bauphysikalischen Kriterien wird im weiteren Verlauf des Leitfadens näher eingegangen.

4.2 Visuelle Behaglichkeit

Die visuellen Anforderungen, die an einen Raum gestellt werden, haben das Ziel, diesen Raum durch visuelle Faktoren als angenehm erscheinen zu lassen. Prinzipiell sollten Räume so gestaltet werden, dass das menschliche Auge die Umgebung schnell erfassen kann und ein guter Raumeindruck vermittelt wird [Knaack]. Wegen der besonderen Bedeutung für die Sehleistung, aber auch zur Vermeidung von Unfällen, werden Anforderungen an die Beleuchtung meist über die Vorgabe von Beleuchtungsstärken in zahlreichen Normen und Richtlinien geregelt.

Eine gute Sehleistung ist gekennzeichnet durch eine hohe Wahrnehmungsgeschwindigkeit sowie schnelles und präzises Erkennen. Um dieses zu ermöglichen und damit visuelle Aufgaben effizient und genau auszuführen zu können, sollte für eine angemessene Beleuchtung ohne Nebeneinwirkungen, wie z.B. Blendung, gesorgt werden. Die erforderliche Beleuchtungsstärke für die jeweiligen Aufgaben sowie allgemeine Kriterien zur Beleuchtungsplanung sind in EN 12464-1 [EN12464-1] aufgeführt. Bei der Beleuchtung von Sportstätten kann EN 12193 [EN12193] angewendet werden.

Eine gute Beleuchtung ist neben der ausreichenden Beleuchtungsstärke durch zahlreiche quantitative und qualitative Anforderungen gekennzeichnet. Hauptsächliche Faktoren, die die Licht-Umgebung unter Berücksichtigung von künstlicher Beleuchtung und Tageslicht festlegen, sind gemäß EN 12464-1:

- Leuchtdichteverteilung
- Beleuchtungsstärke
- Lichtrichtung, räumliche Beleuchtung
- Variabilität des Lichts (Niveau und Farbe des Lichts)
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe des Lichts
- Blendung
- Flimmern

Neben der Beleuchtung existieren gemäß EN 12464-1 visuelle ergonomische Einflussgrößen, die die Sehleistung beeinflussen, wie beispielsweise:

- die spezifischen Merkmale der Sehaufgabe (Größe, Form, Anordnung, Farbe und Reflexionsgrad des Details und des Hintergrunds),
- das Sehvermögen der Person (Sehschärfe, Tiefenwahrnehmung, Farbwahrnehmung),
- eine bewusst verbesserte und entsprechend geplante Licht-Umgebung, blendungsfreie Beleuchtung, gute Farbwiedergabe, kontrastreiche Kennzeichnungen und optische wie taktile Führungssysteme können die Sehverhältnisse und den Orts- und Orientierungssinn verbessern.

Von diesen Größen sind Unfallhäufigkeit, Fehlerquote und Arbeitsleistung unmittelbar abhängig. Aus diesem Grund sollten je nach Arbeitssituation individuelle Beleuchtungsbedürfnisse berücksichtigt werden, um optimale Ergebnisse zu erzielen, denn eine helle Arbeitsumgebung erhöht die Körperaktivität und trägt dadurch zu einer Leistungssteigerung bei. In EN 12464-1 sind empfohlene Beleuchtungsstärken für die jeweiligen Sehaufgaben sowie Reflexionsgrade für Oberflächen abgebildet. Diese recht allgemein gehaltenen Angaben werden durch DIN 5035-7 [DIN5035-7] ergänzt.

Sofern eine natürliche Belichtung möglich ist, sollte diese vorzugsweise genutzt werden, denn Tageslicht hat positive Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen. Darüber hinaus reduziert eine ausreichende Versorgung mit Tageslicht den Energieverbrauch für die künstliche Beleuchtung. Ob eine effektive Nutzung möglich ist, hängt von vielen Faktoren ab, wie beispielsweise den üblichen Belegungs- bzw. Nutzungsstunden, der Autonomie (Teil der Belegungs- bzw. Nutzungszeit, während dieser genügend Tageslicht einfällt), Standort des Gebäudes, Anzahl der Tageslichtstunden im Sommer und im Winter, etc. Um zu gewährleisten, dass mindestens während eines angemessenen Teils der Belegungs- bzw. Nutzungsdauer Tageslicht genutzt werden kann, wird empfohlen, Anforderungen an den Tageslichteinfall in die für die menschliche Nutzung vorgesehenen Räume festzulegen. EN 15193 [EN15193] enthält Einzelheiten zu Nutzungszeiten, dem Vorhandensein von Tageslicht und entsprechende Schätzungen.

Auch der Sichtbezug nach außen trägt entscheidend zum Wohlbefinden sowie Konzentrationsvermögen des Menschen bei. Die Ausführung der Fassade ist demnach entscheidend für die Gewährleistung der visuellen Behaglichkeit.

Je größer der Fensterflächenanteil, desto mehr Tageslicht kann den Innenraum erreichen. Durch eine hohe Transparenz können jedoch auch Überhitzungen und Blendungen hervorgerufen werden. Zur Gewährleistung des sommerlichen Wärmeschutzes sowie des Sehkomforts sollten aus diesem Grund geeignete Sonnen- und Blendschutzvorrichtungen bei der Planung berücksichtigt werden. Durch ein aufeinander abgestimmtes Sonnenschutz- und Tageslichtkonzept können die Wärmelasten im Gebäude so weit reduziert werden, dass trotz effektiver Tageslichtnutzung ein angenehmes Raumklima auch in den Sommermonaten entsteht. Weitere Ausführungen zu diesem Thema befinden sich im Kapitel Winterlicher Wärmeschutz.

4.3 Akustische Behaglichkeit

Die akustische Behaglichkeit in Räumen wird durch die Anordnung der Räume entsprechend ihrer Nutzung im Gebäude, von außen übertragene Geräusche, von Geräuschen innerhalb eines Gebäudes sowie von der eigenen Geräuschproduktion bzw. der „Raumantwort“ beeinflusst. Es wird zwischen Luftschall, der sich von der Quelle aus im Raum über die Luft ausbreitet und Körperschall (meist Trittschall), der sich über die Bauteile des Gebäudes verbreitet, differenziert. Äußere Lärmquellen können beispielsweise Baustellen oder Verkehrslärm beinhalten, im Gebäude selbst können Telefonieren, Gehen oder Musik eine Geräuschquelle darstellen. Zudem können störende Geräusche auch von technischen Anlagen ausgehen [Knaack].

An die unterschiedlichen Bauteile des Gebäudes werden Anforderungen bezüglich ihrer Schalldämmeigenschaften gestellt. Diese ergeben sich aus dem Außenlärmpegel sowie aus dem im Innenraum vorhandenen Geräuschpegel.

Die wesentlichen Anforderungen an den Schallschutz sind in DIN 4109 geregelt. Werden die in dieser Norm aufgeführten Grundsätze und Ausführungsanweisungen beachtet, ist nach Bauordnungsrecht der geschuldete Mindestschallschutz gewährleistet. Nach dieser Norm werden jedoch lediglich die Mindestanforderungen an den Schallschutz eingehalten, sie bildet demnach auf einer Skala möglicher Schallschutzqualitätsniveaus das untere Ende. Weitere Normen und Richtlinien (z.B. DIN 4109 Bbl.2 [DIN4109Bbl.2] und VDI 4100 [VDI4100]) geben Hinweise zur Planung und Ausfüh-

rung eines erhöhten Schallschutzes. Weitere Informationen zum Thema Schallschutz befinden sich im Kapitel Weitere Anforderungen.

Eine wichtige Größe zur Beurteilung der akustischen Eigenschaften in einem Raum ist die Nachhallzeit. Sie beschreibt die Zeitdauer, die der Schall in einem Raum benötigt, um zu verklingen. Je kleiner die Nachhallzeit, desto besser ist die Hörsamkeit im Raum. Für eine gute Sprachverständlichkeit gilt eine Nachhallzeit von etwa einer Sekunde. In Abhängigkeit von Raumnutzung und -größe können hiervon abweichende bzw. andere optimale Werte resultieren. Sind im Fassadenbereich große Glasflächen vorhanden, besteht die Möglichkeit zur Schallabsorption mit Hilfe eines innenliegenden Blendschutzes mit zusätzlichen raumakustischen Eigenschaften.

Durch eine Vergrößerung der Schallabsorptionsfläche wird die Nachhallzeit in einem Raum reduziert. Nach DIN 18041 [DIN18041] wird die Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen im Wesentlichen von der Lage des Raumes im Gebäude, der Schalldämmung seiner Umfassungsflächen, der Geräuschentwicklung im Raum, der Raumform und -größe, der Oberflächenbeschaffenheit der Raumbegrenzungsflächen sowie der Einrichtungsgegenstände bestimmt. Dabei sind die Dimensionierung und die räumliche Verteilung schallabsorbierender und reflektierender Flächen im Raum wesentliche Einflussgrößen. DIN 18041 gilt für kleine bis mittelgroße Räume mit Raumvolumina bis etwa 5000 m³ und für Sport- und Schwimmhallen ohne Publikum bis 8500 m³. In der Norm sind die akustischen Anforderungen und Planungsrichtlinien zur Sicherung der Hörsamkeit vorrangig für die Sprachkommunikation einschließlich der dazu erforderlichen Maßnahmen festgelegt.

4.4 Hygienische Behaglichkeit

Die hygienische Behaglichkeit ist für die Qualität der Raumluft entscheidend und wird neben einigen anderen Faktoren durch die Qualität der Zuluft einerseits sowie durch nutzungs- und raumbedingte Verunreinigungen andererseits bestimmt. Diese Verunreinigungen der Raumluft sind von vielen Faktoren abhängig, es kann sich dabei beispielsweise um CO_2, Stäube, Gase, Geruchsstoffe oder Bakterien handeln [Lenz].

Besonders Emissionen aus Baustoffen üben einen wesentlichen Einfluss auf die Raumluftqualität aus. Diese werden oft großflächig in den Raum eingebracht und können meist vom Raumnutzer nicht beeinflusst werden. Die Wirkungen von flüchtigen organischen Verbindungen sind beispielsweise Geruchsempfindungen, Reizwirkungen auf die Schleimhäute von Augen, Nase und Rachen bis hin zu Langzeitwirkungen, wie die Beeinflussung des Nervensystems oder allergisierende Eigenschaften [AgBB].

Bisher existieren keine genormten Verfahren zur sicheren Auswahl emissionsarmer Baumaterialien. Aus diesem Grund wird für die Planung gemäß EN 15251 folgende Klassifizierung für die Berechnung des Außenluftvolumenstroms verwendet:

- Gebäude, bei denen ein außerordentlicher Aufwand betrieben wurde, um Baustoffe zu wählen, die Verunreinigungen nur in geringem Maße freisetzen und bei denen Tätigkeiten verboten sind, bei denen Verunreinigungen freigesetzt werden und keine älteren Verunreinigungsquellen (z.B. Tabakrauch) vorhanden sind: sehr schadstoffarm

- Gebäude, bei denen ein Aufwand betrieben wurde, um Baustoffe zu wählen, die Verunreinigungen nur in geringem Maß freisetzen und Tätigkeiten begrenzt oder verboten sind, bei denen Verunreinigungen freigesetzt werden: schadstoffarm

- alte oder neue Gebäude, bei denen kein Aufwand betrieben wurde, um Baustoffe zu wählen, die Verunreinigungen nur in geringem Maß freisetzen und Tätigkeiten nicht verboten sind, bei denen Verunreinigungen freigesetzt werden: nicht schadstoffarm

In den technischen Regeln für Gefahrstoffe werden Arbeitsplatzgrenzwerte für bestimmte Stoffe aufgelistet. Laut Gefahrstoffverordnung [GefStoffV] beschreiben diese den Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffs in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum. Sie geben an, bis zu welcher Konzentration eines Stoffs keine akuten oder chronisch schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit zu erwarten sind [GefStoffV]. In dem AgBB-Schema wird die Vorgehensweise zur gesundheitlichen Bewertung von Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauproduktion beschrieben. Es bildet die Grundlage für eine einheitliche Bewertung von Bauprodukten in Deutschland [GefStoffV].

Zur Gewährleistung der hygienischen Behaglichkeit sollte ein ausreichender Luftwechsel sichergestellt werden. Dieser kann entweder mittels einer natürlichen Belüftung aber auch durch mechanische Lüftungsgeräte realisiert werden.

Da im Gebäudebestand die nachträgliche Integration eines Kanalnetzes für die Zu- und Abluftführung meist mit aufwändigen Sanierungsarbeiten verbunden ist, könnte eine mechanische Lüftung durch dezentrale, fassadenintegrierte Lüftungsgeräte realisiert werden. Weitere Informationen zum Thema Lüftungstechnik finden sich in Kapitel Anlagentechnische Maßnahmen.

4.5 Normen und Richtlinien

Im Folgenden werden für das Thema „Behaglichkeit“ relevante Normen und Richtlinien tabellarisch abgebildet sowie ihr Inhalt stichpunktartig erläutert. Die Angabe der relevanten Normen und Richtlinien erfolgt ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

4.5.1 Thermische Behaglichkeit

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
EN ISO 7730	Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit	Verfahren, anhand deren das allgemeine menschliche Wärmeempfinden und der Grad der Unbehaglichkeit (thermische Unzufriedenheit) von Menschen bestimmt werden können, die einem gemäßigten Umgebungsklima ausgesetzt sind. Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch die Berechnung von PMV (predicted mean vote) und PPD (predicted percentage of dissatisfied).
EN 13779	Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme	Planung von Lüftungs- und Klimaanlagen zum Erreichen und Aufrechterhalten einer guten Energieeffizienz ohne negative Auswirkungen auf die Qualität des Innenraumklimas.
EN 15251	Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik	Festlegungen zu Auslegungskriterien für die Anlagendimensionierung. Festlegung der Eingangsparameter für das Innenraumklima, die beim Entwurf und der Auslegung von Gebäudeanlagen verwendet werden sollen. Für folgende Gebäudenutzungen anwendbar: Wohngebäude, Bürogebäude, Schul- und Hochschulgebäude, Krankenhäuser, Hotels und Restaurants, Sporteinrichtungen, Groß- und Einzelhandelsgebäude
VDI 4706	Kriterien für das Raumklima	Bereitstellung von Anforderungen an das Raumklima für die Auslegung. Angaben zum Raumklima beziehen sich ausschließlich auf Räume, die als Aufenthaltszone für Wohn- oder Arbeitszwecke genutzt werden.

4.5.2 Visuelle Behaglichkeit

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN 5034-1-6	Tageslicht in Innenräumen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen Teil 2: Grundlagen Teil 3: Berechnung Teil 4: Vereinfachte Bestimmung von Mindestfenstergrößen für Wohnräume Teil 5: Messung Teil 6: Vereinfachte Bestimmung zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachflächen	Festlegung von Mindestanforderungen, um in Innenräumen einen hinreichenden subjektiven Helligkeitseindruck mit Tageslicht zu erzielen und eine ausreichende Sichtverbindung nach außen herzustellen. Berechnungsverfahren. Messung des Tageslichts.
DIN 5035-7	Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen	Anforderungen an Leuchten. Planungs - und Betriebsempfehlungen von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen unter Berücksichtigung von Arbeits- und Sehaufgaben im Hinblick auf die Beeinträchtigungsfreiheit.
EN 12193	Licht und Beleuchtung -Sportstättenbeleuchtung	Richtlinien zur Beleuchtung von Sportstätten, um gute Sehbedingungen für Sportler, Athleten, Schiedsrichter, Zuschauer sowie Filmaufnahmen zu ermöglichen. Angabe von Werten für Beleuchtungsstärken, Gleichmäßigkeiten, Blendungsbegrenzung und Farbeigenschaften der Lichtquellen.
EN 12464-1	Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen	Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen. Berücksichtigung aller üblichen Sehaufgaben. Empfehlungen für die Umsetzung guter Beleuchtung.
EN 12665	Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung	Festlegung von grundlegenden Begriffen für Anwendungen von Beleuchtungen.
EN 14500	Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Prüf- und Berechnungsverfahren	Definition von Prüf- und Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Reflexions- und Transmissionskenngrößen. Bestimmung der Leistungsklassen von außen- und innenliegenden Abschlüssen hinsichtlich des thermischen und visuellen Komforts. Verfahren zur Bestimmung der Lichtdurchlässigkeitskenngrößen von innen und außen liegenden Verschattungsanlagen.
EN 14501	Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Leistungsanforderungen und Klassifizierung	Charakterisierungsverfahren bezüglich der Leistungsanforderungen an Jalousien, Markisen und Abschlüsse. Festlegung von Parametern zur quantitativen Bestimmung der Eigenschaften für den thermischen und visuellen Komfort.
EN 15193	Energetische Bewertung von Gebäuden - Energetische Anforderungen an die Beleuchtung	Anleitung zur Ableitung von theoretischen Grenzwerten für die Beleuchtungsenergie anhand von Referenzschemen.

4.5.3 Akustische Behaglichkeit

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN 18041	Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen	Akustische Anforderungen und Planungsrichtlinien zur Gewährleistung der Hörsamkeit in einem Raum.
DIN 4109	Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise	Festlegung der Anforderungen an den Schallschutz mit dem Ziel, Menschen in Aufenthaltsräumen vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragung zu schützen. Berichtigung der Norm im Jahr 1992.
DIN 4109 Bbl. 2	Schallschutz im Hochbau - Hinweise für Planung und Ausführung - Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz - Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich	Hinweise für die Bauplanung und Bauausführung sowie Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich. Empfehlungen für den Schallschutz gegen Schallübertragung im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich. Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz gegen Geräusche aus haustechnischen Anlagen.
VDI 2569	Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro	Schalltechnische Optimierung von Büroräumen.
VDI 4100	Schallschutz von Wohnungen - Kriterien für Planung und Beurteilung	Festlegung von drei Schallschutzklassen für Wohnungen und wohnungsähnliche Räume. Ziel ist der Schutz von Personen vor unakzeptablen und störenden Lärm, verursacht durch unterschiedliche Lärmquellen innerhalb und außerhalb. Deklaration höherer Schallschutzklassen mit dem Ziel, höhere Komfortansprüche auch aus akustischer Sicht Rechnung zu tragen. Richtlinie wendet sich u.a. an den Planer, Architekten, akustische Berater, Bauherren, Mieter und Vermieter sowie an Käufer und Verkäufer von Häusern und Wohnungen.

4.5.4 Hygienische Behaglichkeit

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
AgBB - Bewertungsschema für VOC aus Bauprodukten	Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten	Grundlage für eine einheitliche Bewertung von Bauprodukten in Deutschland.
EN 13779	Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme	Planung von Lüftungs- und Klimaanlagen zum Erreichen und Aufrechterhalten einer guten Energieeffizienz ohne negative Auswirkungen auf die Qualität des Innenraumklimas.
EN 15251	Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik	Festlegungen zu Auslegungskriterien für die Anlagendimensionierung. Festlegung der Eingangsparameter für das Innenraumklima, die beim Entwurf und der Auslegung von Gebäudeanlagen verwendet werden sollen. Für folgende Gebäudenutzungen anwendbar: Wohngebäude, Bürogebäude, Schul- und Hochschulgebäude, Krankenhäuser, Hotels und Restaurants, Sporteinrichtungen, Groß- und Einzelhandelsgebäude.

EN 482	Exposition am Arbeitsplatz - Allgemeine Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Verfahren zur Messung chemischer Arbeitsstoffe	Festlegung der Anforderungen, die vom Messverfahren zu erfüllen sind, wenn diese unter festgelegten Laborbedingungen geprüft werden.
Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)	Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen	Gefahrstoffinformation: Gefährlichkeitsmerkmale. Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung. Sicherheitsdatenblatt und sonstige Informationspflichten. Gefährdungsbeurteilung.
Technische Regeln für Gefahrenstoffe	Arbeitsplatzgrenzwerte	Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse für Tätigkeiten mit Gefahrenstoffen, einschließlich deren Einstufung und Kennzeichnung.
VDI 4300	Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen	Beschreibung allgemeiner Aspekte für die Messung von Innenraumluftverunreinigungen. Beschreibung der für die einzelnen Stoffe bzw. Stoffgruppen wichtigen Randbedingungen, die während der Messung beachtet werden sollten.
ASR A 3.6	Technische Regeln für Arbeitsstätten - Lüftung	Konkretisierung der Anforderungen der Verordnung über Arbeitsstätten an die Lüftung. Gültig für Arbeitsplätze in umschlossenen Arbeitsräumen zur Gewährleistung einer ausreichenden Luftqualität.

5 Winterlicher Wärmeschutz

Gebäude müssen hinsichtlich des Wärmeschutzes derart konzipiert und realisiert sein, dass der Nutzer auf unterschiedliche klimatische Bedingungen reagieren kann, um ganzjährig ein behagliches Innenraumklima sicherzustellen.

Der winterliche Wärmeschutz dient dem Zweck, die Wärmeverluste von Gebäuden während der Heizperiode zu minimieren, hygienisch einwandfreies und behagliches Innenraumklima für die Nutzer zu gewährleisten sowie die Baukonstruktionen dauerhaft vor den Folgen von Feuchteeinwirkungen zu schützen und damit die Schadensfreiheit der Bausubstanz zu garantieren. Beeinflusst wird der bauliche Wärmeschutz durch die Gebäudegeometrie und die bautechnische Ausführung der thermischen Gebäudehülle. Ein guter winterlicher Wärmeschutz beinhaltet Maßnahmen, welche die Wärmeübertragung zwischen Innenraum und Außenluft sowie niedriger temperierten Gebäudezonen (z.B. Kellerräume, Dachräume, etc.) reduzieren. Auf diese Weise können der Energiebedarf für die Heizung reduziert und die damit verbundenen Schadstoffemissionen gering gehalten werden. In Kombination mit einer effizienten Anlagentechnik bildet der winterliche Wärmeschutz folglich die Voraussetzung für ein energieeffizientes und nachhaltiges Gebäude.

Um den Wärmeschutz bestmöglich zu gestalten, bedarf es in der Regel einer Gesamtoptimierung der Gebäudehülle und im Besonderen der Fassade, d.h. sowohl der opaken als auch der transparenten Bereiche mittels Reduzierung von Wärmeleitung, Konvektion sowie langwelligem Strahlungsaustausch. Hierfür können je nach Fassadenkonstruktion verschiedene Wärmedämmstoffe, gedämmte Rahmenkonstruktionen, Wärmeschutzgläser oder auch Oberflächenbeschichtungen zum Einsatz kommen [Herzog]. Bei den transparenten Bauteilen ist zugleich - für den Heizfall - auf eine hohe Energiedurchlässigkeit, d.h. auf einen großen g-Wert zu achten, um passive Solarenergienutzung zu ermöglichen.

5.1 Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz

Die energetische Mindestqualität eines Gebäudes wird über die jeweils gültige Fassung der Energieeinsparverordnung (EnEV) formuliert. In dieser werden die energetischen Mindestanforderungen sowohl an den Neubaubereich, als auch an den Gebäudebestand definiert. Die Hauptanforderungsgröße der EnEV für den Nichtwohngebäudebereich stellt die Einhaltung eines maximal zulässigen Jahres Primärenergiebedarfs für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung sowie Beleuchtung dar. Dieser Wert darf den Jahres-Primärenergiebedarf eines Referenzgebäudes mit gleicher Geometrie, Ausrichtung und Nutzung nicht überschreiten. Darüber hinaus sind alle Umfassungsflächen so auszuführen, dass die Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) eingehalten werden können (Tabelle 1).

Tabelle 1: Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche nach EnEV 2009 [EnEV].

Zeile	Bauteil	Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bezogen auf den Mittelwert der jeweiligen Bauteile	
		Zonen mit Raum-Soll-temperaturen im Heizfall ≥ 19 °C	Zonen mit Raum-Soll-temperaturen im Heizfall von 12 bis < 19 °C
1	Opake Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeilen 3 und 4 enthalten	0,35 W/(m²K)	0,50 W/(m²K)
2	Transparente Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeilen 3 und 4 enthalten	1,9 W/(m²K)	2,8 W/(m²K)
3	Vorhangfassade	1,9 W/(m²K)	3,0 W/(m²K)
4	Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	3,1 W/(m²K)	3,1 W/(m²K)

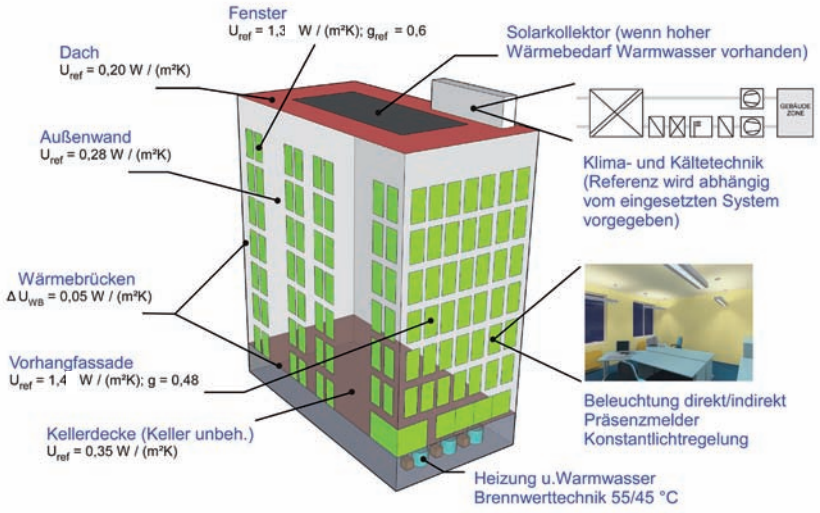


Bild 5: Ausführung des Referenzgebäudes für Nichtwohngebäude (Referenzwerte auszugsweise).

Werden alle für das Referenzgebäude angesetzten oder bessere Werte für bauliche und technische Komponenten planerisch vorgesehen, ist sichergestellt, dass das Gebäude die Anforderungen der EnEV einhält (Bild 5).

Bei umfangreichen Sanierungsmaßnahmen an bestehenden Gebäuden gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn die Werte für den Jahres-Primärenergiebedarf und die Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche die Anforderungen für Neubauten um nicht mehr als 40 % überschreiten. Sind nur einzelne Gebäudeteile nachzuweisen, müssen diese bestimmte Anforderungswerte einhalten, die sich auf den jeweiligen U-Wert beziehen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten für den Gebäudebestand nach ENEV 2009 [EnEV].

Bauteil	**Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innenraumtemperaturen ≥ 19 °C**	**Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis ≥ 19 °C**
	Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{max}	
Außenwände	0,24 W/(m²K)	0,35 W/(m²K)
Außen liegende Fenster, Fenstertüren	1,3 W/(m²K)	1,9 W/(m²K)
Dachflächenfenster	1,4 W/(m²K)	1,9 W/(m²K)
Verglasungen	1,1 W/(m²K)	Keine Anforderungen
Vorhangfassaden	1,5 W/(m²K)	1,9 W/(m²K)
Glasdächer	2,0 W/(m²K)	2,7 W/(m²K)
Außen liegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster mit Sonderverglasung	2,0 W/(m²K)	2,8 W/(m²K)
Sonderverglasungen	1,6 W/(m²K)	Keine Anforderungen
Vorhangfassaden mit Sonderverglasung	2,3 W/(m²K)	3,0 W/(m²K)
Decken, Dächer und Dachschrägen	0,24 W/(m²K)	0,35 W/(m²K)
Flachdächer	0,20 W/(m²K)	0,35 W/(m²K)
Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	0,30 W/(m²K)	Keine Anforderungen
Fußbodenaufbauten	0,50 W/(m²K)	Keine Anforderungen
Decken nach unten an Außenluft	0,24 W/(m²K)	0,35 W/(m²K)

5.2 Grundlegende Sanierungsstrategien

5.2.1 Instandsetzung

Bei diesem Sanierungsansatz ist es das Ziel, die bestehenden Fassadenkomponenten so weit in Stand zu setzen, dass sie den heutigen energetischen Anforderungen an eine Gebäudehülle genügen. Zu den notwendigen Mindestmaßnahmen können in der Regel das Aufbringen von Wärmedämmung, der Austausch der Fenster sowie die Installation bzw. Erneuerung eines Sonnenschutzes zählen [Kaag].

Im Vorfeld ist zu klären, ob der Zustand der einzelnen Fassadenkomponenten diesen Sanierungsansatz zulässt, denn es werden, beispielsweise durch das nachträgliche Aufbringen einer Wärmedämmung, zusätzliche Lasten erzeugt, die einen Einfluss auf die Statik der Konstruktion besitzen können.

5.2.1.1 Außendämmung

Durch eine Außendämmung ergeben sich im Vergleich zu einer Innendämmmaßnahme neben dem Schutz der Bausubstanz weitere Vorteile. Die Wärmespeicherfähigkeit der Außenwände bleibt erhalten, wodurch die im Gebäudeinneren auftretenden Temperaturschwankungen gemindert werden können. Darüber hinaus werden bestehende Wärmebrücken reduziert, die Durchfeuchtungen einer möglichen innenliegenden Dämmung oder der tragenden Konstruktion durch Tauwasser verhindert und alle Nutzflächen in ihrer ursprünglichen Größe erhalten. Der beste Zeitpunkt für die Realisierung einer Außendämmung ist gegeben, wenn ohnehin eine Instandsetzung bzw. Sanierung der betreffenden Bauteile ansteht.

Durch die Anbringung der Dämmung werden die Laibungstiefen der Fenster vergrößert, wodurch nicht nur die Proportionen des Gebäudes, sondern auch die Lichtverhältnisse der Innenräume beeinflusst werden. Im Zuge einer geplanten Dämmmaßnahme von außen sollte aus diesem Grund ein gleichzeitiger Austausch und ein Versetzen der Fenster in Betracht gezogen werden. Darüber hinaus kann bei dem Versetzen der Fenster in die Dämmebene eine Reduzierung der Wärmebrückenwirkung erreicht werden.

Wird bei einer Außenwand eine Dämmung von außen angebracht, fordert die EnEV 2009 den U-Wert der Wand mit U ≤ 0,24 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie U ≤ 0,35 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C.

Wärmedämmverbundsystem

Wärmedämmverbundsysteme (WDV-Systeme) eigenen sich sowohl für den Einbau in Neubauten, als auch für die energetische Modernisierung von Altbaubeständen. Die Systeme bestehen in der Regel aus einer Dämmschicht (z.B. Hartschaumplatten oder Produkten aus Mineralfaser), einer gewebearmierten Putzschicht und einer Deckschicht, die wiederum aus diversen Putzarten, Riemchen oder Ähnlichem bestehen kann (Bild 6).

Voraussetzung für die problemlose Anbringung eines WDV-Systems ist eine Fassade ohne starke Vor- und Rücksprünge, Gesimse, Fenstergewände oder sonstigen Dekorausformulierungen. Zudem sollte die Fassadenoberfläche tragend und sauber sein. Das Entfernen von Verunreinigungen, wie Algen, Moos, abblätternder Farbschichten und losen Mauerwerksteilen, ist bei Altbauwänden in der Regel erforderlich, um eine dauerhaft schadensfreie Anbringung des WDV-Systems gewährleisten zu können. Mittels drei unterschiedlicher Befestigungssysteme kann das WDV-System an die vorhandene Fassade angebracht werden [Schild]:

Schichtaufbau
1 Innenputz
2 Mauerwerk
3 Außenputz
4 Wärmedämmung
5 Armierungsgewebe, Systemputz

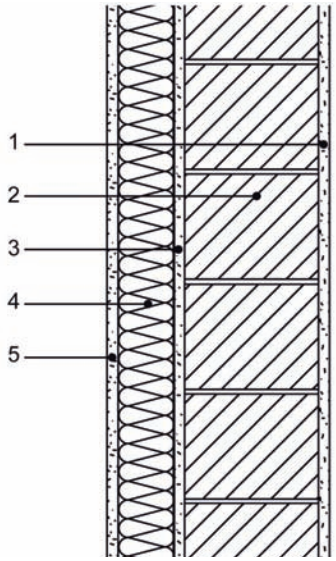


Bild 6: Aufbau Wärmedämmverbundsystem.

Schichtaufbau
1 Innenputz
2 Mauerwerk
3 Außenputz
4 Wärmedämmung
5 Tragkonstruktion
6 vorgehängte Fassade

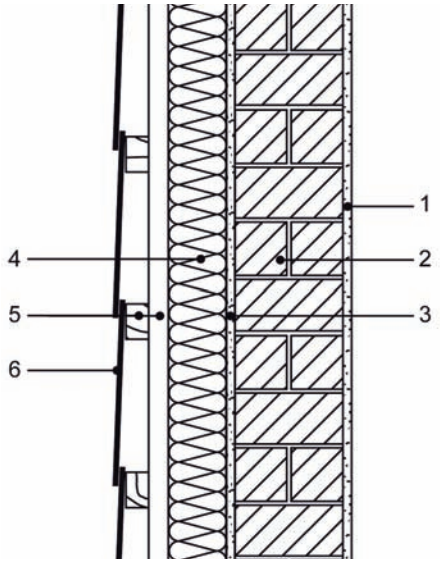


Bild 7: Aufbau vorgehängte, hinterlüftete Fassade.

- reine Verklebungstechnik,
- Kombination aus Verklebung und Verdübelung,
- mechanische Befestigung über Tragschienen.

Die Montage der Dübel unterscheidet sich von Produkt zu Produkt und wird in der Regel in den Einbauanweisungen der unterschiedlichen Hersteller aufgeführt. Nahezu alle WDVS-Hersteller empfehlen zur Vermeidung von Abzeichnungen eine versenkte Dübelmontage mit Dämm-Rondellen.

Die Ursache für diese Verfärbungen auf der Putzoberfläche ist die Wärmebrückenwirkung der Dübel. Da ein Dübel materialbedingt schlechtere Dämmeigenschaften als das Dämmplattenmaterial hat, wird über diesen mehr Wärme als über die Dämmplatte nach außen transportiert. Die daraus resultierende höhere Temperatur auf der Putzoberfläche führt an den Positionen der Dübel oft zu veränderten Verschmutzungsneigungen [Schild].

Weist der Untergrund für das Wärmedämmverbundsystem Unebenheiten von bis zu 3 cm auf, können keine Verklebungen oder Verdübelungen ausgeführt werden, wodurch sich die Notwendigkeit des Einsatzes von Schienensystemen oder Spezialbefestigungen ergibt [Maier].

Vorgehängte, hinterlüftete Fassade

Im Wesentlichen besteht die vorgehängte, hinterlüftete Fassade (VHF) aus einer Unterkonstruktion, einer Dämmstoffschicht mit Vlieskaschierung und der Verkleidung (Bild 7). Wetterschutzhülle und Dämmebene sind durch eine Luftschicht getrennt. Diese bewirkt, dass die hinter der Fassade befindliche Wand bzw. Wärmedämmung bei eventuell anfallender Feuchte oder Schlagregen abtrocknen kann und sollte eine Mindestbreite von 20 mm besitzen. Die Hinterlüftung wird durch Zuluftöffnungen an der Unterseite und Abluftöffnungen an der Oberseite gewährleistet. Es sind Be- und Entlüftungsöffnungen am Gebäudefußpunkt und am Dachrand mit Querschnitten von mindestens 50 cm^2 je 1 m Wandlänge vorzusehen [DIN18516-1].

Der Lastabtrag erfolgt über ein definiertes statisches System von der Bekleidung in die Unterkonstruktion und von dort in die dahinter liegende Tragschale. Die Sanierung mit einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade bietet sich in der Regel an, wenn die Fassade keine starke Gliederung aufweist, da die Sanierung eines Gebäudes mit stark ausgeprägter Lochfassade durch die vielen Anschlussbereiche zu besonderen Anforderungen bei der Montage und zu erhöhten Investitionskosten führen kann [Schild].

Die Wärmedämmung zwischen der Unterkonstruktion muss nicht druckfest sein und kann bei entsprechender Beplankung auch als Schüttung ausgeführt werden [Maier].

Das Sanierungsprinzip der vorgehängten, hinterlüfteten Fassade ist zwar kostenintensiver als das des Wärmedämmverbundsystems, bietet dafür aber maximale Freiheit in der Fassadengestaltung. Es existiert eine Vielzahl von Bekleidungsmaterialien (z.B. Natursteinplatten, Ziegelelemente, Holzschalungen, Glas, etc.), die Verwendung finden können. Auch können Systeme zur aktiven Solarenergienutzung in die vorgehängte, hinterlüftete Fassade integriert werden. Photovoltaische Systeme erreichen bei einer Hinterlüftung die höchsten Wirkungsgrade.

Bestandsfassaden im Nichtwohngebäudebereich sind häufig nicht verputzt, sondern mit angemörtelten Fassadenbekleidungen versehen. Mangelhaft ausgeführte oder zu wenige Dehnfugen in der Bekleidung führten aufgrund der unterschiedlichen

Materialeigenschaften von Fassadenbekleidung und Untergrund oft zu starken Spannungen und folglich zu Rissen oder Abplatzungen. Wird eine solche Fassade saniert

und soll eine neue Bekleidung nachgebildet werden, bietet sich die Anbringung dieser anhand des Prinzips der vorgehängten, hinterlüfteten Fassade an, denn die Hinterlüftung ermöglicht eine ungehinderte thermisch bedingte Ausdehnung des Materials und erhöht somit die Lebensdauer des Bekleidungsmaterials.

Transparente Wärmedämmung

Unter dem Begriff „transparente Wärmedämmung“ (TWD) werden transparente oder transluzente Materialien mit Wärmedämmeigenschaften zusammengefasst. Die transparente Wärmedämmung wird sowohl auf opaken Wänden für den Wärmegewinn durch Sonnenenergie, als auch in transluzenten oder semitransparenten Wandkonstruktionen zur Verbesserung der Raumausleuchtung mit natürlichem Tageslicht verwendet [Schild].

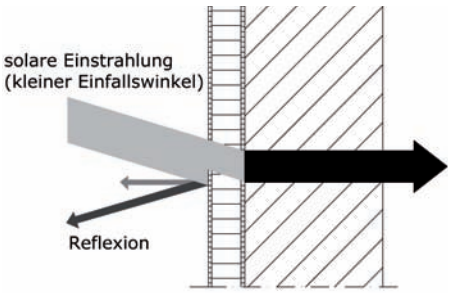


Bild 8: Funktionsprinzip TWD-Element mit dahinter liegender Speicherwand [nach Schild].

Zum einen kann das TWD-System einer Absorberschicht (Speicherwand) vorgelagert werden (Bild 8). Während sich bei konventionellen Wärmedämmungen in den Wintermonaten üblicherweise ein, aufgrund der Temperaturdifferenzen zwischen Innen und Außen, nach außen gerichteter Wärmestrom einstellt, kann durch die transparente Wärmedämmung, die einer Absorberschicht vorgelagert ist, bei einem ausreichenden Strahlungsangebot eine Umkehrung des Wärmeflusses in Richtung Innenraum erfolgen, da die Solarstrahlung das System durchdringt und die Absorberschicht erhitzt. Die Wärme wird phasenverschoben an den Innenraum geleitet. Als Wandbaustoffe eignen sich insbesondere solche mit einer hohen Rohdichte, wie beispielsweise Beton oder Kalksandstein. Bei Baustoffen mit geringer Rohdichte könnte sich am Absorber ein Hitzestau bilden, der zu thermischen Spannungen in der Wandkonstruktion und Schäden am TWD-Element führen kann.

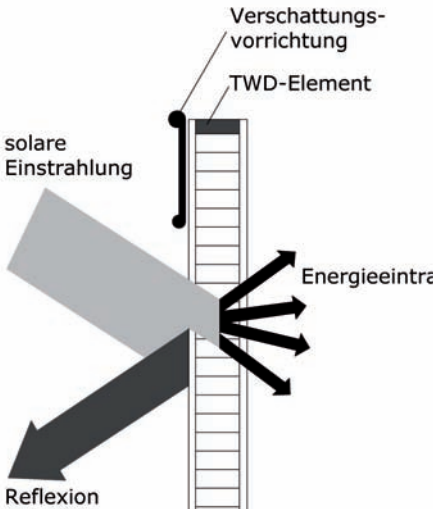


Bild 9: Funktionsprinzip Direktgewinnsystem [nach Schild].

Des Weiteren können TWD Elemente auch direkt und ohne eine dahinter liegende Speicherwand verwendet werden. Diese sogenannten Direktgewinnsysteme stellen Formen von Gläsern dar und werden als direkte, lichtgebende Elemente in der Außenwand eingesetzt. Das Tageslicht kann durch die Streuwirkung der TWD-Struktur besser im Innenraum verteilt werden. Ein solches TWD-Element besteht in der Regel aus einer Innen- und einer Außenverglasung, die eine TWD-Füllung umschließen (Bild 9). Da die Durchsicht in der Regel eingeschränkt ist, ersetzen Direktsysteme keine Fenster, können aber zur Ausleuchtung des Raumes beitragen [Schild].

Um in den Sommermonaten eine Überhitzung zu vermeiden, sollten die TWD zusätzlich mit einer Sonnenschutzvorrichtung ausgestattet werden. Hierbei stehen mehrere Möglichkeiten, von baulichen Maßnahmen bis hin zu aktiver Verschattung, zur Auswahl. Um zudem unbehaglich hohe Raumtemperaturen zu vermeiden, werden TWD-Systeme in der Regel nur partiell als Fassadensystem (10-30 % der gesamten Fassadenoberfläche) verwendet [Schild].

Vakuumisolationspaneele

Vakuumisolationspaneele (VIP) sind Wärmedämmprodukte, die im Vergleich zu herkömmlichen Dämmmaterialien bei gleichem Wärmedurchgangskoeffizienten nur ein Fünftel- bis ein Zehntel der Dicke aufweisen. Der prinzipielle Aufbau eines Vakuumisolationspaneels besteht aus einem hochporösen Kernmaterial und einem gasdichten Hüllmaterial. Das Kernmaterial wird unter ein Vakuum gesetzt, was einen wesentlichen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit des Systems hat, da in einem luftleeren Raum kein Wärmetransport über Leitung und Konvektion stattfindet. Der Dämmkern eines VIP kann aus unterschiedlichen Dämmmaterialien wie beispielsweise Hartschäumen, Glas- oder Mineralfasern bestehen, im Baubereich wird als Material in der Regel pyrogene Kieselsäure verwendet, da diese nicht brennbar, hitzebeständig und sehr langlebig ist [Kaag].

Eine vergleichsweise erhöhte Aufmerksamkeit bei der Verwendung von VIP benötigt die Planung und Ausführung, da die Paneele nach Aufmaß hergestellt und angeliefert

Schichtaufbau
1 Innenputz
2 Mauerwerk
3 Außenputz
4 Wärmedämmung
5 Dampfbremse oder -sperre
6 Gipskartonplatte

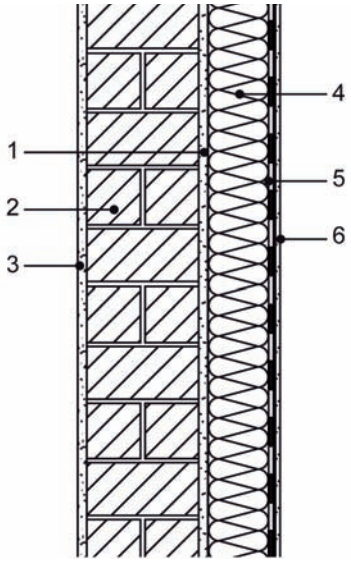


Bild 10: Aufbau Innendämmung.

werden. Sie können vor Ort nicht angepasst werden, da bei einer Beschädigung der Platte das Vakuum zerstört und somit die Wärmedämmwirkung reduziert würde. Es existieren herstellerspezifisch verschiedene Varianten (z.B. zusätzliche Vliesschichten, dünne Deckschichten aus Polystyrol) um die Widerstandsfähigkeit der Paneele zu erhöhen.

Hauptsächlich werden die Dämmpaneele mit Plattendicken von 10-50 mm und handlichen Abmessungen für den Einbau vor Ort hergestellt. Standardgrößen von Rechteckplatten betragen üblicherweise etwa 0,5 bis 1,5 m². Neben rechteckigen Platten werden als Sonderformen auch trapezförmige und dreieckige Platten produziert. Um die Befestigung der Elemente und die Durchdringung der Paneele mit Kabeln und/ oder Leitungen zu ermöglichen, können Ankerdurchdringungen, vorgefertigte Löcher, Randeindellungen und Mittelstege integriert sein [Brockmann].

Innendämmung

Insbesondere Bestandsgebäude mit erhaltenswerten oder denkmalgeschützten Fassaden weisen häufig einen sehr schlechten Wärmeschutz der Außenwände auf. Häufig bleibt bei solchen Gebäuden nur die Möglichkeit zur Dämmung von innen, da das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes dadurch erhalten bleibt. Eine Dämmmaßnahme von innen kann jedoch auch in anderen Bereichen sinnvoll sein, beispielsweise wenn aus rechtlichen Gründen (z.B. Abstandsflächen, Besitzverhältnisse) die Anbringung einer Außendämmung nicht möglich ist. Darüber hinaus ist sie für den nachträglichen Ausbau von Kellerräumen gut geeignet oder in Gebäuden, in denen aufgrund kurzer Nutzungszeiten ein schnelles Aufheizverhalten der Innenräume wünschenswert ist (z.B. Versammlungsstätten).

Beim Einbau innenraumseitiger Dämmschichten fordert die EnEV 2009 einen Wärmedurchgangskoeffizienten der Wand von $U \leq 0{,}35$ W/(m²K). Innendämmungen reduzieren den Wärmedurchgang durch die Gebäudehülle nicht im gleichen Maß, wie es bei Außendämmungen der Fall ist, da die Verluste über Wärmebrücken von einbindenden Bauteilen überproportional zunehmen können und die Dämmstoffdicken konstruktiv und bauphysikalisch begrenzt sind. Durch Innendämmung sinkt insgesamt die Temperatur innerhalb der Tragkonstruktion. Daher sind in diesem Bereich geführte Installationsleitungen von Heizung und Wasser einer Frostgefahr ausgesetzt und es müssen entsprechend vorbeugende Maßnahmen (z.B. nachträgliche Dämmung wenn möglich, Verlegung) getroffen werden.

Die Innendämmung besteht in der Regel aus einer Tragstruktur (Klebemasse, Tellerdübel, Unterkonstruktion), einer Dämmschicht, einer Dampfbremse bzw. -sperre sowie einer Deckschicht (Bild 10). Eine Dampfbremse bzw. -sperre, die zwischen Dämmschicht und Deckschicht angebracht wird, ist immer dann notwendig, wenn die Wandbekleidung zusammen mit dem Dämmstoff keinen ausreichenden Widerstand gegen diffusiv eindringenden Wasserdampf bietet [HMU].

Häufig gilt das Dämmen der Außenwände von innen nach wie vor als planerisch und ausführungstechnisch anspruchsvolle Sanierungsmaßnahme, da bei falscher Ausführung schnell Feuchteprobleme in der Konstruktion und Schimmelpilzbildung resultieren können. Dennoch sollte bei Gebäuden, deren Außenwände nicht von außen gedämmt werden können, keinesfalls auf eine Verbesserung des Wärmeschutzes verzichtet werden. Eine richtig geplante und ausgeführte Dämmmaßnahme von innen kann dazu beitragen, den Energiebedarf des Gebäudes erheblich zu reduzieren ohne dabei die Bausubstanz zu schädigen. Des Weiteren kann davon ausgegangen werden, dass die im Nichtwohngebäudebereich auftretenden Feuchtelasten im Gegensatz zum Wohngebäudebereich je nach Nutzung geringer und somit unkritischer sind. Vor der Planung und Durchführung einer Innendämmmaßnahme sollte die gegenwärtige und zukünftige Nutzung des Gebäudes bekannt sein. Des Weiteren ist es häufig sinnvoll, zusammen mit der Innendämmung auch eine kontrollierte Raumlüftung einzubauen, damit hohe Raumluftfeuchten während der Heizperiode vermieden werden können.

Neben ihrer diffusionstechnisch richtigen Ausführung sollte die Fassade zudem auch innen luftdicht sein, um Tauwasserbildung infolge von Luftströmen hinter der Innendämmung zu vermeiden. Diese Hinterströmungen können in der Konstruktion das Risiko einer Schimmelpilzbildung hervorrufen und mit ihrer Rückströmung die Raumluft mit giftigen Sporen und Mikroorganismen belasten. Die Luftdichtheit ist ebenso notwendig, um das Eindringen von Feuchte aus der Raumluft in die Konstruktion zu unterbinden. Zudem werden so Lüftungswärmeverluste reduziert und ein guter Schall- und Brandschutz wird gewährleistet [Maier].

Kerndämmung

Bei zweischaligem Mauerwerk, welches aus einer inneren Tragschale und der Verblendschale besteht, kann der Fassadenzwischenraum mit einer Kerndämmung ausgefüllt werden. Bei einer Kerndämmung gilt laut EnEV 2009 die Anforderung als erfüllt, wenn der bestehende Hohlraum zwischen den Schalen vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt wird. Durch Bohrlöcher, Lüftungsöffnungen oder herausgenommene Vormauersteine wird der lose und dauerhaft wasserabweisende Dämmstoff (schütt- oder einblasbar) in den Hohlraum zwischen den Mauerwerksschalen eingebracht und verdichtet (Bild 11).

Schichtaufbau
1 Innenputz
2 Tragschale, Mauerwerk
3 Kerndämmung
4 Vormauerschale

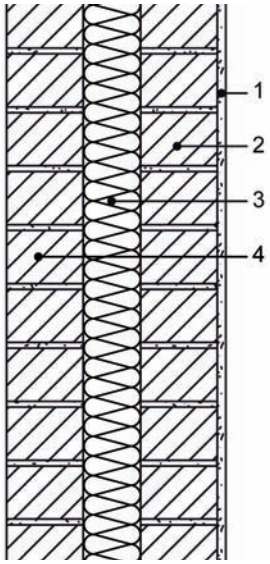


Bild 11: Aufbau Kerndämmung.

Es dürfen nur Produkte verwendet werden, die für diesen Anwendungsfall genormt sind oder deren Tauglichkeit durch eine bauaufsichtliche Zulassung sichergestellt ist. Eine Kerndämmmaßnahme bietet sich vor allen Dingen dann an, wenn das Erscheinungsbild des Gebäudes erhalten bleiben soll oder beispielsweise aus rechtlichen Gründen (z.B. Abstandsflächen, Besitzverhältnisse) die Anbringung einer außenseitigen Dämmung nicht möglich ist.

Eine Kerndämmung kann auch in Kombination mit einer Außen- oder Innendämmmaßnahme durchgeführt werden. Aus bauphysikalischer Sicht sollte bei einer Außendämmmaßnahme von zweischaligem Mauerwerk auch immer der Fassadenzwischenraum gedämmt werden, denn es ist häufig nicht klar, ob aufgrund von versteckten Öffnungen oder Schlitzen in der Verblendschale eine Hinterlüftung vorhanden ist, wodurch sich die Dämmwirkung der von außen aufgebrachten Dämmung deutlich reduzieren würde. Durch die Verfüllung des Hohlraumes kann keine Hinterlüftung mehr stattfinden.

Bei einer Innendämmmaßnahme bestehen aus wärmeschutztechnischer Sicht keine Nachteile, wenn der vorhandene Hohlraum nicht gedämmt wird. Jedoch sollte beachtet werden, dass sich durch eine Verfüllung des Hohlraums der Wärmeschutz zusätzlich verbessern oder die Stärke der Innendämmung reduzieren ließe. Die spezifische Ausgangssituation erfordert vor der Ausführung eine bauphysikalische Detailplanung. Bei einer Kerndämmmaßnahme in Kombination mit einer Außen- oder Innendämmung gelten je nach Maßnahme die jeweiligen Anforderungswerte der EnEV 2009 (Außendämmung: $U \leq 0{,}24$ W/(m²K); Innendämmung $U \leq 0{,}35$ W/(m²K)).

Vor einer Kerndämmmaßnahme sollte, mit Hilfe von Prüföffnungen oder einer Endoskopie, der vorhandene Schichtaufbau klassifiziert werden. Es ist notwendig, detaillierte Informationen über den Zustand der Verankerungen, die Funktionsfähigkeit der Abdichtungen und der Feuchtigkeit in der Luftschicht zusammenzutragen. Obwohl die Einblasöffnungen in der Regel von außen erstellt werden, können, beispielsweise bei denkmalgeschützten Fassaden, die Öffnungen auch durch die Tragschale von der Innenseite angelegt werden [Schild].

5.2.2 Rückbau, Austausch und Neuerrichtung

Der Rückbau einer bestehenden Fassade bis zum Rohbau und das anschließende Errichten einer neuen Fassade sind in der Regel Maßnahmen im Rahmen einer ganzheitlichen Sanierung des gesamten Gebäudes als Reaktion auf Veränderungen der inneren Organisation bzw. Nutzung.

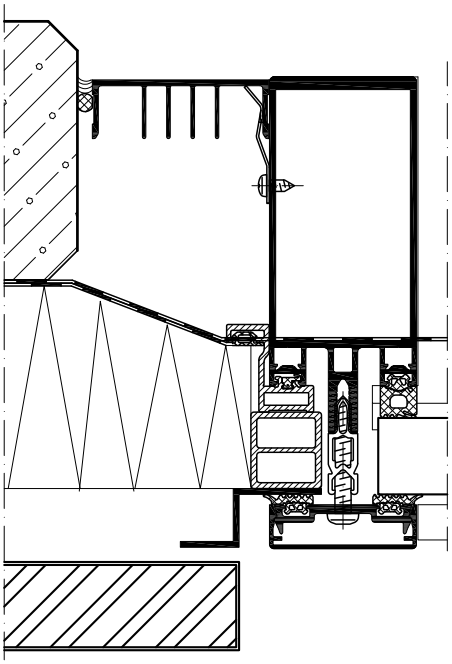


Bild 12: Ausführungsbeispiel. Horizontalschnitt thermisch getrennter Pfosten-Profile [Schueco].

In diesem Fall ist es häufig notwendig, das Gebäude in den Rohbauzustand zurückzuführen, um funktionale, energetische, konstruktive und gestalterische Aspekte im Zusammenhang lösen zu können [Kaag].

Der Rückbau einer Fassade ist nur dann ohne weiteres möglich, wenn diese nicht massiv ausgeführt ist, bzw. nicht zur Tragfähigkeit des Gebäudes beiträgt. Eine Fassadenkonstruktion, bei der die Möglichkeit zum Austausch besteht, stellt beispielsweise eine Skelettkonstruktion dar, bei der die Ausfachungen oder vorgehängten Fassadenelemente rückgebaut und durch energetisch hochwertigere ersetzt werden können. Durch diese Maßnahme können neben der Verbesserung des Wärmeschutzes auch weitere Änderungen, wie beispielsweise die Erhöhung des Glasanteils der Fassade vorgenommen werden.

5.2.2.1 Sanierung einschaliger Vorhangfassaden

Besonders im innerstädtischen Bereich (z.B. Büro- und Verwaltungsgebäude) haben sich einschalige Vorhangfassaden als Bauweise durchgesetzt. Solche Fassaden besitzen in der Regel eine hohe Transparenz und sind nahezu unabhängig vom Haupttragwerk des Gebäudes, weshalb sich als Sanierungsmaßnahme, neben der herkömmlichen Ertüchtigung, die Möglichkeit zum Rückbau und Austausch der Fassadenelemente anbietet. Die Vorhangfassade ist nicht zu verwechseln mit der vorgehängten, hinterlüfteten Fassade (eine genaue Beschreibung bzw. Definition befindet sich im Kapitel „Fassadentypen und -merkmale“).

Die EnEV 2009 stellt Mindestanforderungen an einschalige Vorhangfassaden, wenn diese in der Weise erneuert werden, dass das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird. Einzuhalten ist ein U-Wert von maximal 1,5 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie maximal 1,9 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Die Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Vorhangfassaden erfolgt nach EN 13947 [EN13947]. Gemäß dieser Norm stehen zwei Möglichkeiten zur rechnerischen Ermittlung des U-Werts zur Verfügung, ein vereinfachtes Verfahren sowie das Verfahren mit Beurteilung der einzelnen Komponenten.

Ein wesentliches Merkmal einer Vorhangfassade besteht in dem geringen Eigengewicht und Platzbedarf. Dünne Rahmenkonstruktionen nehmen transparente, semitransparente oder opake Füllelemente auf, die die wärmschutztechnische Ebene bilden. Das Tragsystem einer Vorhangfassade besteht aus einem Sprossenwerk aus Aluminium oder Stahl, das die anfallenden Lasten in das Gebäudetragwerk weiterleitet. Durch den Austausch einschaliger Vorhangfassaden kann die im Bestand häufig nicht vorzufindende thermische Trennung der Anschlüsse und Profile nachträglich gewährleistet werden, wodurch vorhandene Wärmebrücken im Fassadenbereich reduziert werden können. In der Regel wird zur Gewährleistung der thermischen Trennung Kunststoff verwendet, der einerseits eine niedrige Wärmeleitung und andererseits eine ausreichende statische Festigkeit aufweist (Bild 12).

Der in der Regel hohe Glasanteil in Vorhangfassaden bringt den Nutzern eines Gebäudes sowohl Vor- als auch Nachteile: Während große Verglasungsflächen im Innenraum im Winter zu Wärmeenergie- und Tageslichtgewinnen beitragen, sind im Sommer zu hohe Wärmeeinträge unerwünscht und müssen durch wirksame Sonnenschutzmaßnahmen reduziert werden. Sind diese nicht vorhanden, sollte in jedem Fall die nachträgliche Installation eines Sonnenschutzsystems vorgesehen werden.

Werden Vorhangfassaden ausgetauscht, besteht die Möglichkeit, technische Komponenten (z.B. solartechnische Systeme, dezentrale Lüftungsgeräte, Sonnenschutz, etc.) nachträglich über die Fassade zu realisieren. Die Funktion der Fassade kann auf diese Weise, neben den typischen Aufgaben einer Gebäudehülle, um die Komponenten Sonnenschutz, Lichtlenkung, sowie Lüften, Heizen und Kühlen erweitert werden. Am Markt verfügbar sind sog. Multifunktionselemente, die genannten Funktionen miteinander

vereinen. Ziele in der Entwicklung sind die Reduzierung von Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten sowie die Minimierung von Kälte- und Beleuchtungsbedarf. So sollen Behaglichkeit und Zufriedenheit der Nutzer des Gebäudes sichergestellt werden.

5.2.2.2 Fensteraustausch

Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil in der Fassade oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf die Tageslichtversorgung sowie in Wärme-, Schall- und sommerlicher Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt und für die Nutzung und Behaglichkeit prägend ist. Energieverluste und unzureichender Schallschutz entwickelten sich im Laufe der Zeit zunehmend als Belastung, daher sind die Ansprüche an die Schutzfunktion des Fensters bis heute erheblich gestiegen [Dorsemagen].

Die EnEV 2009 stellt Mindestanforderungen an Fenster in bestehenden Gebäuden, falls diese ausgetauscht oder ersetzt werden. Der U_W-Wert der Fenster beträgt maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten keine Anforderungen. Die Anforderungen gelten jedoch nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme des vorgeschriebenen Glases ungeeignet ist. Wird ausschließlich das Glas eines Fensters ausgetauscht und ist die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahme aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn ein Glas mit einem U_g-Wert ≤ 1,3 W/(m²K) eingebaut wird. Darüber hinaus gelten spezielle Anforderungen bei Sondergläsern. Hier ist ein maximaler U_W-Wert von 2,0 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Temperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 2{,}8$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C einzuhalten. Die Anforderungen gelten nicht bei Schaufenstern und Türanlagen aus Glas.

Eine Fenstersanierung strebt neben der Verbesserung des Wärmeschutzes auch die weitgehende Luftdichtigkeit an, um unter anderem die Lüftungswärmeverluste zu minimieren. Gemäß EnEV 2009 müssen Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster unterschiedliche Klassen der Fugendurchlässigkeit nach EN 12207 einhalten.

Viele der im Gebäudebestand vorhandenen Fenster können die heutigen energetischen Anforderungen nicht mehr erfüllen. Alte Fenster sind häufig undicht, der Luftaustausch mit der Außenluft erfolgt daher unkontrolliert, wodurch im Winter ein großer Teil an Heizenergie verloren geht. Durch den bestehenden Luftzug und geringe Oberflächentemperaturen entsteht häufig ein Gefühl der Unbehaglichkeit im Innenraum. Auch unzureichender, nicht mehr zeitgemäßer Schallschutz kann ein Grund für eine notwendige Fenstersanierung sein.

Durch einen Fensteraustausch können weitere, energetisch weniger relevante Aspekte, wie beispielsweise die Gewährleistung der Barrierefreiheit (Anpassung der Tür- und Brüstungshöhen, Griffhöhen, etc.) realisiert werden. Darüber hinaus können vorbeugende Schadensverhütungsmaßnahmen gegen Einbruch vorgenommen werden. Durch eine Automatisierung der Fensteröffnung (bedarfsgerechte Lüftung) kann ein Komfortgewinn für den Gebäudenutzer erzielt werden.

Fenster müssen, neben den spezifischen Funktionen wie Belichtung und Belüftung, die gleichen Funktionen wie die Außenwände selbst erfüllen. Gegenüber der 30 bis 50 cm starken Außenwand konzentrieren sich diese Anforderungen jedoch auf einen Querschnitt von ca. 5 bis 10 cm in einem wesentlich komplexeren Gefüge. Eine energetische Verbesserung kann in einzelnen Fällen bei funktionstüchtigen Rahmen und ausreichender Rahmenprofile durch einen Glasaustausch erzielt werden. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden.

5.3 Betrachtung der übrigen baulichen Aspekte der Gebäudehüllfläche

Der Hauptbestandteil des Leitfadens besteht in der Erläuterung von fassadenbezogenen Verbesserungen der energetischen Qualität von Nichtwohngebäuden. Die übrigen Teile der Gebäudehüllfläche bleiben jedoch nicht unberücksichtigt und werden im Folgenden aufgeführt.

5.3.1 Dachsanierung

Das Dach stellt den oberen Abschluss des Gebäudes dar und ist somit aus bauphysikalischer Sicht ein zentraler Bestandteil des Bauwerks. Es ist zahlreichen Witterungseinflüssen wie Niederschlägen, Schneelasten sowie extremer Sonneneinwirkung ausgesetzt.

Eine Sanierung des Dachs empfiehlt sich immer dann, wenn der Dachraum nachträglich genutzt werden soll oder aufgrund von Beschädigungen ohnehin Maßnahmen zur Instandsetzung des Dachaufbaus anstehen.

Prinzipiell werden Dächer je nach Neigung in Flach- oder Steildächer differenziert. Je nach Dachkonstruktion existieren wiederum unterschiedliche Möglichkeiten zur Sanierung.

5.3.1.1 Flachdach

Wird bei einem Flachdach eine nachträgliche Dämmschicht angebracht, fordert die EnEV 2009 einen Wärmedurchgangskoeffizienten des Daches von U ≤ 0,20 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie U ≤ 0,35 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Flachdächer sollen entsprechend den Flachdachrichtlinien ein Gefälle von mindestens 2 % aufweisen. Diese Forderung kann durch die Verwendung von Gefälledämmelementen erfüllt werden. Werden bei der Flachdacherneuerung Gefälledächer durch die keilförmige Anordnung einer Dämmschicht aufgebaut, so ist der Wärmedurchgangskoeffizient nach EN ISO 6946: 1996 - 11 [ENISO6946] Anhang C zu ermitteln. Der Bemessungswert des Wärmedurchgangswiderstandes am tiefsten Punkt der neuen Dämmschicht muss den Mindestwärmeschutz gewährleisten.

Bei Flachdächern wird im Wesentlichen zwischen Warm- und Kaltdächern unterschieden. Als Warmdächer werden nicht belüftete Dächer bezeichnet. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass die Tragkonstruktion und Dachabdichtung ein Verbundelement bilden.

Bei der Sanierung von Warmdächern besteht die Möglichkeit, von innen oder von außen zu dämmen. Die Wahl der Sanierungsmaßnahme wird unter anderem dadurch beeinflusst, ob die Dachabdichtung intakt ist und der vorhandene Dachaufbau bestehen bleiben kann oder ob die Konstruktion durch mögliche Schadstellen beeinträchtigt ist und erneuert werden muss. Des Weiteren bedürfen begehbare Dachflächen einer gesonderten Betrachtung, da hier zusätzliche Anforderungen an die Druckbelastbarkeit, Entwässerung und Ausführung der Anschlusspunkte gestellt werden.

Bei Kaltdächern sind Tragkonstruktion und Dachabdichtung durch eine mit der Außenluft in Verbindung stehende Luftschicht voneinander getrennt. Witterungs- und Wärmeschutz werden also, ähnlich wie bei den vorgehängten, hinterlüfteten Fassaden, auf zwei voneinander unabhängige Systeme verteilt. Auch hier ist die mögliche Sanierung von der Konstruktion und Tragfähigkeit der unteren Tragschale abhängig, darüber hinaus spielt die Höhe des belüfteten Raumes zwischen oberer und unterer Schale eine wesentliche Rolle. Ist dieser ausreichend hoch, besteht die Möglichkeit, ihn nachträglich zu dämmen bzw. auszudämmen und auf diese Weise das Erscheinungsbild des Gebäudes nicht zu beeinträchtigen [Hauser]. Eine Dämmung auf der Dachabdichtung ist nicht sinnvoll, da durch die Belüftungsebene die Dämmwirkung verloren geht.

Zusätzlich zur Dämmung des Flachdachs kann eine nachträgliche Begrünung in Erwägung gezogen werden. Gründächer tragen neben der Verbesserung des sommerlichen und winterlichen Wärmeschutzes zu einer positiven Beeinflussung des Mikro- und Stadtklimas bei. Sie dienen der Retention von Regenwasser und schützen die äußere Dachhaut vor Temperaturextremen. Die nachträgliche Begrünung erfordert eine entsprechende Statik des Flachdachs. Die zusätzlichen Lasten sind durch einen Statiker zu überprüfen. Auch geneigte Dächer bis zu etwa 15° Neigung eignen sich für den Gründachaufbau [Baunetz1].

Grundsätzlich nehmen vor Beginn einer Sanierung die Fehlerermittlung und die Analyse der vorhandenen Flachdachkonstruktion einen enormen Stellenwert ein. Die Kenntnis der Konstruktionsprinzipien liefert Hinweise auf spezifische Anschluss-, Abschluss- und Durchbruchdetails, Untergrundmerkmale und auf Merkmale der vorhandenen Abschlussbeschichtung, wie auch der tragenden Konstruktion im Hinblick auf statische Verhältnisse. Sie gibt somit erste Ansatzpunkte für mögliche konstruktionsspezifische Fehlerquellen [Richarz].

Auf einen rechnerischen Tauwasser-Nachweis nach DIN 4108-3 kann verzichtet werden, wenn unterhalb der Dämmschicht eine diffusionshemmende Schicht mit einem Sperrwert ≥ 100 m angeordnet wird und der Wärmedurchlasswiderstand unterhalb der dieser Schicht max. 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstandes beträgt. Eine Simulation des feuchtetechnischen Verhaltens der Konstruktion nach DIN 15025 ist hier anzuraten und liefert zudem eine höhere Planungssicherheit.

Flachdächer erfordern zu ihrer Erhaltung und zur Verlängerung ihrer Lebensdauer regelmäßige Wartung und Pflege. Die Dachflächen sollten einmal jährlich überprüft werden, dies schließt die Beseitigung von Verschmutzungen, Kiesverwehungen und unerwünschtem Pflanzenbewuchs ebenso ein wie die Reinigung von Dachrinnen und -abläufen und von Be- und Entlüftungsöffnungen. Voraussetzung ist allerdings, dass die Dachflächen ungehindert zugänglich sind [UniS].

5.3.1.2 Steildach

Die EnEV 2009 fordert bei geneigten Dächern einen Wärmedurchgangskoeffizienten bei nachträglichem Einbau von Dämmschichten von U ≤ 0,24 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie U ≤ 0,35 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C.

Für die nachträgliche Dämmung von Steildächern gibt es unterschiedliche Möglichkeiten:

- Dämmung oberhalb der Sparren
- Dämmung unterhalb der Sparren
- Zwischensparrendämmung
- Kombination aus Zwischen- und Untersparrendämmung oder Kombination aus Zwischen- und Aufsparrendämmung

Wird bei energetischen Sanierungsmaßnahmen der Wärmeschutz als Zwischensparrendämmung ausgeführt und ist die Dämmschichtdicke wegen einer innenseitigen Bekleidung oder der Sparrenhöhe begrenzt, so gilt die Anforderung als erfüllt, wenn die nach anerkannten Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke eingebaut wird.

Steht eine Sanierung der Dacheindeckung an oder ist die Dachabdichtung defekt, empfiehlt sich eine Durchführung der Dämmmaßnahme von außen, da ohnehin Kosten

für die Erneuerung der Dacheindeckung entstehen. Um unnötig hohe Dachaufbauten zu vermeiden, ist eine Kombination aus Zwischen- und Aufsparrendämmung sinnvoll. Vorteil ist, dass der vorhandene Dachgeschossausbau von der Dämmmaßnahme unberührt bleibt. Darüber hinaus kann ein optimaler Feuchtigkeitsschutz der Dämmebene gewährleistet werden. Bei dieser Maßnahme wird die Dampfbremse parallel zu den Sparren in die Gefache eingelegt und an den Sparren selbst seitlich hochgeführt. Die Bahnen werden luftdicht miteinander verklebt. Für die Zwischensparrendämmung gilt generell, dass kein steifes Dämmmaterial benutzt werden sollte, damit das seitliche Andrücken der Dämmung an den Sparren gewährleistet ist und auf diese Weise vermieden wird, dass zwischen Dampfbremse und Sparren feuchte Raumluft eindringt und Tauwasser ausfällt. Als Dämmmaterial eignet sich beispielsweise ein zusammendrückbarer Klemmfilz oder eine Dämmschüttung.

Ist die Dacheindeckung in einem guten Zustand und das Unterdach intakt, empfiehlt sich eine Dämmung von innen. Um übermäßige Raumverluste zu vermeiden, ist bei den heute erforderlichen Dämmstärken eine Kombination aus Unter- und Zwischensparrendämmung sinnvoll. Auf diese Weise können die Kosten für eine neue Dacheindeckung vermieden werden, darüber hinaus ist keine Gerüststellung notwendig.

Vorab ist sicherzustellen, dass die Dachkonstruktion ausreichend tragfähig ist, um die zusätzlichen Lasten abzutragen. Der s_d-Wert des Unterdachs bestimmt im Wesentlichen die innere Schichtenfolge. Oftmals handelt es sich um dampfdichte Materialien, wie beispielsweise Dachpappen oder PE-Folien, die in die Konstruktion eingedrungene Feuchte nur sehr langsam nach außen abtrocknen lassen.

Wird diese Einbausituation vorgefunden, besteht entweder die Möglichkeit, auf Kosten der Dämmstärke eine zusätzliche Lüftungsebene unterhalb des Unterdachs vorzusehen oder innenseitig eine Dampfsperre so sauber zu verlegen, dass das Eindringen von Wasserdampf aus der Raumluft in die Dämmebene komplett verhindert wird. Alternativ empfiehlt sich auch der Einbau einer feuchteadaptiven Dampfbremse. Diese Dampfbremsen mit variablem Wasserdampfdiffusionswiderstand besitzen eine von der mittleren Umgebungsfeuchtigkeit abhängige Sperrwirkung. Im Winter erhöht sich somit der Diffusionswiderstand, sodass nur geringe Wasserdampfmengen in die Dämmebene eindringen, wohingegen im Sommer die Sperrwirkung nachlässt, sodass die Gefache zum Innenraum austrocknen können [Richarz].

5.3.2 Dämmung der obersten Geschossdecke

Die EnEV 2009 fordert einen Wärmedurchgangskoeffizienten von obersten Geschossdecken bei nachträglichem Einbau von Dämmschichten auf $U \leq 0{,}24$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U \leq 0{,}35$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Die Sanierung von obersten Geschossdecken aktiviert ein hohes Einsparpotential. Da sich energetische Sanierungsmaßnahmen in diesem Bereich aufgrund der geringen Investitionskosten als besonders wirtschaftlich darstellen, ist in der EnEV 2009 festgeschrieben, dass Eigentümer von Wohn- und Nichtwohngebäuden, die nach ihrer Zweckbestimmung jährlich mindestens vier Monate und auf Innentemperaturen von mindestens 19 °C beheizt werden, dafür sorgen müssen, dass bisher ungedämmte, nicht begehbare, aber zugängliche oberste Geschossdecken beheizter Räume so gedämmt sind, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der Geschossdecke 0,24 W/(m²K) nicht überschreitet. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn anstelle der Geschossdecke das darüber liegende Dach entsprechend gedämmt ist.

Für die Dämmung der obersten Geschossdecke existieren folgende Möglichkeiten:

- Dämmung auf der Oberseite der Decke
- Dämmung auf der Unterseite der Decke
- Dämmung innerhalb der Deckenkonstruktion (z.B. Holzbalkendecke)

Die Dämmung auf der obersten Geschossdecke stellt bei unbenutzten Spitzböden die leichteste und preiswerteste Dämmmaßnahme dar. Bei nicht begehbaren Geschossdecken (z.B. Spitzböden) kann die Wärmedämmung ohne weitere Konstruktionen auf der Decke verlegt werden. Unter Umständen ist je nach vorhandener Konstruktion zur Verhinderung von Tauwasserbildung unterseitig eine Dampfbremse erforderlich. Bei begehbaren Dachräumen, die beispielsweise als Lagerfläche genutzt werden, ist die Erstellung einer Konstruktion erforderlich, die die aufgebrachte Dämmung vor mechanischer Beschädigung schützt. Alternativ kann auch druckfester Dämmstoff, wie z.B. Hartschaum oder Holzfaserplatten verwendet werden. Bei größeren Dämmstärken ist es sinnvoll, die Dämmung zweilagig auszuführen. Zum Einen lassen sich auf diese Weise die Platten einfacher verarbeiten und einpassen, des Weiteren können die Plattenstöße versetzt angeordnet werden, wodurch eine Wärmebrückenwirkung durch die Fugen minimiert wird [Richarz].

Für die Anbringung einer zusätzlichen Wärmedämmung auf der Unterseite der Decke müssen neue Unterdecken aus Gipskarton oder Gipsfaserplatten erstellt werden. Der daraus resultierende Deckenhohlraum wird mit der erforderlichen Wärmedämmung ausgefüllt. Unterhalb der Wärmedämmung ist eine Dampfsperre einzubauen, um die Konstruktion vor Kondensatschäden zu schützen.

Besteht die oberste Geschossdecke aus einer Holzkonstruktion, ist es unter Umständen möglich, die Hohlräume mit Dämmstoff aufzufüllen. Am zweckmäßigsten geschieht dies durch Einblasen von Dämmstoffen. Sollte der zur Verfügung stehende Raum in der vorhandenen Deckenkonstruktion für die erforderliche Dämmstoffstärke nach EnEV nicht ausreichen, ist für diesen Fall eine Ausnahme zulässig, wenn der Konstruktionsraum vollständig mit Dämmstoffmaterial ausgefüllt wird [Baunetz2].

5.3.3 Dämmung der Kellerdecke

Wird eine Kellerdecke nachträglich gedämmt, begrenzt die EnEV 2009 den Wärmedurchgangskoeffizienten auf $U \leq 0{,}30$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C. Für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten für die Sanierung von Kellerdecken nach EnEV 2009 keine Anforderungen.

Wenn in einem Gebäude ein unbeheizter Keller vorhanden ist, dann bildet die Kellerdecke einen Teil der wärmeübertragenden Hüllfläche und sollte gedämmt werden. Jene Dämmung kann sowohl oberseitig, als Zusatz zur Trittschalldämmung, oder unterseitig im Kellerraum angebracht werden. Für die Dämmung der Kellerdecke stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Dämmung von unten
- Dämmung von oben

Aus Kostengründen wird eine Kellerdecke in der Regel unterseitig gedämmt, was die einfachste Möglichkeit darstellt, die Wärmeverluste durch Decken zum unbeheizten Keller zu reduzieren. Voraussetzung für diese Maßnahme ist, dass die Raumhöhe im Keller diese Maßnahme überhaupt zulässt und dass unterseitig geführte Kabel und Rohrleitungen kein zu großes Hindernis darstellen. Unterhalb der Decke geführte Installationen sollten wenn möglich verlegt oder nach entsprechender Prüfung der Scha-

densfreiheit überdämmt werden. Die ausreichende Überdämmung der Wärmebrücken im Sockelbereich oder bei einbindenden Innenwänden sollte bei der Planung berücksichtigt werden. Eine besondere Rolle spielen Gewölbekonstruktionen, die unterseitig gedämmt werden sollen. Bei dieser Maßnahme empfiehlt es sich, an die Unterseite der Decke eine Unterkonstruktion anzubringen, an der eine Vorsatzschale (z.B. Gipskarton- oder Gipsfaserplatten) abgehängt werden kann. Der entstandene Hohlraum wird schließlich mit einblasbaren Dämmstoffen (z.B. Zellulose- oder Mineralfaserflocken) ausgedämmt.

Eine oberseitige Dämmung der Kellerdecke bietet sich dann an, wenn ohnehin der alte Fußbodenaufbau bis zur Rohdecke, z.B. im Rahmen einer Kernsanierung, entfernt werden muss. Es sollte beachtet werden, dass durch die Dämmung der Kellerdecke von oben eventuell die Anpassung von Türhöhen, Treppen und die Anhebung von Heizkörpern notwendig wird, was unter Umständen zu einem Kostenmehraufwand führen kann. Um die notwendige Dämmstärke im Fußbodenaufbau zu reduzieren, können Vakuumdämmpaneele (VIP) eingesetzt werden. Die Kosten der Vakuumdämmung sind zwar deutlich höher, allerdings werden Aufwand und Zusatzkosten von Anpassungsmaßnahmen durch einen erhöhten Bodenaufbau vermieden. Alternativ existieren andere Dämmplatten mit sehr niedriger Wärmeleitfähigkeit (z.B. Phenolharzdämmplatten).

5.4 Berücksichtigung angrenzender Bauteile bzgl. ihrer Wärmebrückenwirkung

Als Wärmebrücken werden lokal begrenzte Schwachstellen der thermischen Gebäudehüllen bezeichnet, die durch den lokal erhöhten Wärmetransport einen Einfluss auf die Wärmeverluste eines Gebäudes haben. Der Wärmefluss, der in diesen Bereichen stattfindet, ist teilweise deutlich höher als in ungestörten Bereichen. Ein erhöhter Heizenergiebedarf, der sich somit nachteilig auf die Gesamtbilanz eines Gebäudes auswirkt, ist die Folge. Außerdem besteht das Risiko, dass durch den erhöhten Wärmfluss die raumseitige Oberflächentemperatur im betroffenen Bereich so stark absinkt, dass dort ein erhöhtes Schimmelpilzrisiko besteht.

Diese Thematik gewinnt mit zunehmendem Wärmeschutzniveau an Bedeutung, da Wärmebrücken bei einem verbesserten U-Wert der ungestörten Bereiche stärker ins Gewicht fallen, als bei einem ohnehin schlecht gedämmten Gebäude. Im Zuge einer Sanierungsmaßnahme sollte deshalb immer besonderes Augenmerk auf die Reduzierung von Wärmebrücken gelegt werden.

Unterschieden wird zwischen unterschiedlichen Arten von Wärmebrücken. Eine Form stellt die geometrische Wärmebrücke dar, wie man sie etwa im Bereich der Außenecke einer Fassade wiederfindet. Eine weitere Art ist die materialbedingte Wärmebrücke. Diese entsteht in der Regel durch konstruktionsbedingte Gegebenheiten, die entweder der Tragfähigkeit dienen bzw. Anbauelementen, die eher optisch-gestalterische Hintergründe haben. Oftmals liegt eine Überlagerung der Wärmebrückenarten vor.

Je nach Ausführung der baulichen Situation erfordert der Umgang mit einer Wärmbrücke auch ein entsprechendes Vorgehen. Handelt es sich z.B. um einen tragenden Stützpfeiler, der auf der Außenseite bündig mit der restlichen Fassade abschließt, so kann dieser problemlos überdämmt werden, wodurch auch die Wärmebrückenwirkung stark abnimmt. Etwas komplizierter gestaltet sich der Umgang mit auskragenden Elementen, die nicht überdämmt werden sollen oder können. Beispielsweise auskragende durchbetonierte Deckenplatten stellen im ungedämmten Zustand eine enorme Wärmebrücke dar. Diese kann reduziert werden, wenn zumindest die Randbereiche, möglichst jedoch das gesamte Element ebenfalls mit einer dünneren Dämmschicht versehen werden. Eine weitere Möglichkeit stellt das Abtrennen des entsprechenden Bauteils dar, sofern es keine statische Funktion übernimmt. Dies ist zwar die energetisch sinnvollste Lösung, stellt jedoch den größten Eingriff dar, der das Erscheinungsbild eines Gebäudes maßgeblich verändern kann. Auch das Dämmen von filigranen Stützen, Säulen und sonstigen Elementen verändert die Proportionen und kann die Außenwirkung deutlich beeinflussen.

Auch im Zusammenhang mit einer Innendämmung ist ein besonderes Augenmerk auf die Wärmebrückenwirkung zu legen, da durch die Dämmmaßnahmen Wärmebrückenwirkungen überproportional zunehmen können. Aus einer mangelhaften Ausführung der Detailanschlüsse können erhebliche Wärmeverluste und abgesenkte raumseitige Oberflächentemperaturen resultieren. Wärmebrücken im Zuge einer Innendämmmaßnahme entstehen unter anderem an den Kontaktstellen von Außen- und Innenwänden sowie in die Außenwänden einbindenden Geschossdecken und Innenwänden. Um derartige konstruktive Wärmebrücken zu vermeiden, können diese Bauteilanschlüsse mit einem 30-50 cm in den Raum hineinführenden Dämmkeil versehen werden, wodurch sich der Wärmebrückeneffekt deutlich reduzieren lässt (Bild 13). Des Weiteren sollten Wärmedämmungen immer in die Fensterlaibungen geführt und ausreichend dampfdicht im Rahmenbereich angeschlossen werden (Bild 14).

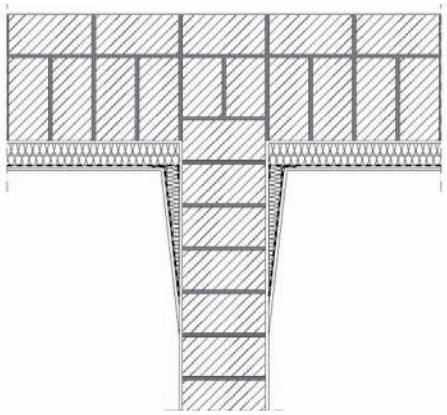


Bild 13: Anschluss Innenwand Außenwand bei Innengedämmter Konstruktion [nach Schild].

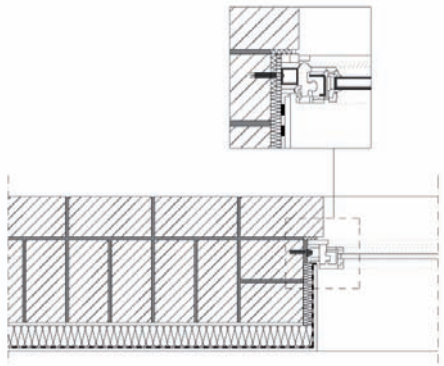


Bild 14: Anschluss Fensterlaibung [nach Schild].

5.5 Normen und Richtlinien

Im Folgenden werden für das Thema „Winterlicher Wärmeschutz“ relevante Normen und Richtlinien tabellarisch abgebildet sowie ihr Inhalt stichpunktartig erläutert. Die Angabe der relevanten Normen und Richtlinien erfolgt ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

5.5.1 Winterlicher Wärmeschutz

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN 4108-2 (EDIN 4108-2)	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz	Festlegung von Mindestanforderungen an die Wärmedämmung von Bauteilen und im Bereich von Wärmebrücken in der Gebäudehülle. Festlegung von Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz.

DIN V 18599-1-11	Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen Teil 6: Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanalgen und Kühlsystemen für den Wohnungsbau Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten Teil 11: Gebäudeautomation	Berechnung von Nutz-, End- und Primärenergiebedarf für Heizung, Klimatisierung, Kühlung, Beleuchtung und Warmwasseraufbereitung. Verfahren zur Zonierung von Gebäuden.
EN ISO 13370	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Wärmeübertragung über das Erdreich	Erläuterung der Berechnungsverfahren für Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient für Bauteile, die sich im wärmetechnischen Kontakt mit dem Erdreich befinden.
EN ISO 13788	Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren	Beschreibung vereinfachter Verfahren zur Berechnung der raumseitigen Oberflächentemperatur von Bauteilen und Bauelementen zur Beurteilung des Risikos zur Tauwasserbildung auf der raumseitigen Oberfläche sowie im Bauteilinneren infolge von Wasserdampfdiffusion.
EN ISO 6946	Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient	Festlegung des Verfahrens zur Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes und des Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilkomponenten und Bauteilen. Näherungsverfahren für Bauteile mit inhomogenen Schichten.
EnEV:2009	Energieeinsparverordnung für Gebäude	Regelung der Energieausweise für Gebäude. Festsetzung der energetischen Mindestanforderungen für Neubauten, sowie für Modernisierung, Umbau Ausbau und Erweiterung von bestehenden Gebäuden. Festsetzung der Mindestanforderungen für Heizungs-, Kühl- und Raumlufttechnik sowie Warmwasserversorgung.

5.5.2 Instandsetzung

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN 18516-1	Außenwandbekleidungen, hinterlüftet - Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze Teil 2: Grundsätze für Planung und Ausführung Teil 3: Naturwerkstein; Anforderungen, Bemessung Teil 4: Einscheiben-Sicherheitsglas - Anforderungen, - Bemessung, Prüfung Teil 5: Betonwerkstein - Anforderungen, Bemessung	Festlegung von Planungs-, Bemessungs- und Konstruktionsgrundsätzen für dauerhafte Konstruktionen. Gilt für hinterlüftete Außenwandbekleidungen mit und ohne Unterkonstruktion, einschließlich der Verankerungen, Verbindungen und Befestigungen.
DIN 55699	Verarbeitung von Wärmedämm-Verbundsystemen	Anwendung und Verarbeitung von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS)
DIN V 18550	Putz- und Putzsysteme - Ausführung	Angepasste Ausführungsregeln für Innen- und Außenputz der EN 998-1.
EN 13162	Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) - Spezifikation	Festlegungen für die Anforderungen an werkmäßig hergestellte Produkte aus den unterschiedlichen Dämmstoffen mit oder ohne Kaschierung oder Beschichtung. Beschreibung der Produkteigenschaften, Prüfverfahren und Festlegungen für Konformitätsbewertung, Kennzeichnung und Etikettierung.
EN 13163	Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS) -Spezifikation	
EN 13164	Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus extrudiertem Polystyrolschaum (XPS) - Spezifikation	
EN 13165	Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Polyurethan-Hartschaum (PU) - Spezifikation	Festlegungen für die Anforderungen an werkmäßig hergestellte Produkte aus den unterschiedlichen Dämmstoffen mit oder ohne Kaschierung oder Beschichtung. Beschreibung der Produkteigenschaften, Prüfverfahren und Festlegungen für Konformitätsbewertung, Kennzeichnung und Etikettierung.
EN 13166	Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Phenolharzschaum (PF) - Spezifikation	
EN 13167	Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Schaumglas (CG) - Spezifikation	
EN 13168	Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Holzwolle (WW) - Spezifikation	
EN 13169	Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Blähperlit (EPB) - Spezifikation	
EN 13170	Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Kork (ICB) - Spezifikation	
EN 13171	Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Holzfasern (WF) - Spezifikation	

EN 13172	Wärmedämmstoffe - Konformitätsbewertung	Festlegung von Verfahren und Anforderungen für die Konformitätsbewertung eines Wärmedämmstoffes mit europäischer Produktnorm.
EN 13494	Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmung der Haftzugfestigkeit zwischen Klebemasse / Klebemörtel und Wärmedämmstoff sowie zwischen Unterputz und Wärmedämmstoff	Festlegung von Prüfeinrichtungen und Verfahren zur Bestimmung der Haftzugfestigkeit zwischen Klebemasse/ Klebemörtel sowie zwischen Unterputz und Wärmedämmstoff.
EN 13495	Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmungen der Abrissfestigkeit von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) (Schaumblock-Verfahren)	Festlegung von Prüfeinrichtungen und Verfahren zur Bestimmung der Abreißfestigkeit von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS), die mechanisch befestigt oder mechanisch befestigt und geklebt sind.
EN 13496	Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Glasfasergewebe	Festlegung von Prüfeinrichtungen und Verfahren zur Bestimmung der Zugfestigkeit und der Dehnung von Glasfasergewebe.
EN 13497	Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmung der Schlagfestigkeit von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS)	Festlegung von Prüfeinrichtungen und Verfahren zur Bestimmung der Schlagfestigkeit von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS).
EN 13498	Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmung des Eindringwiderstandes von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS)	Festlegung von Prüfeinrichtungen und Verfahren zur Bestimmung des Eindringwiderstandes von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS).
EN 13499	Wärmedämmstoffe für Gebäude - Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol - Spezifikation	Festlegung der Anforderungen an werkmäßig hergestellte WDVS mit expandiertem Polystyrol als Wärmedämmstoff. Beschreibung von Produkteigenschaften und Festlegung der Kennzeichnung.
EN 13500	Wärmedämmstoffe für Gebäude - Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus Mineralwolle - Spezifikation	Festlegung der Anforderung für werkmäßig hergestellte Produkte für außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) mit Mineralwolle als Wärmedämmstoff. Beschreibung von Stoffeigenschaften und Festlegung von Prüfverfahren und Kennzeichnung.
EN 13914-1-2	Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen. Teil 1: Außenputz Teil 2: Planung und wesentliche Grundsätze für Innenputz	Festlegungen und Empfehlungen für die Planung. , Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen.

5.5.3 Rückbau, Austausch, Neuerrichtung

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
EN 12207	Fenster und Türen - Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung	Festlegung der Klassifizierung von Prüfergebnissen für vollständig zusammengebaute und fertiggestellte Fenster und Türen aller Materialien.
EN 13947	Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten	Festlegung der Berechnungsverfahren des Wärmedurchgangskoeffizienten von Vorhangfassaden.

EN ISO 10077-1-2	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten- Teil 1: Allgemeines Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen	Festlegung der Ermittlungsverfahren von Wärmedurchgangskoeffizienten bei Fenstern und Türen, die aus einer Verglasung und/oder opaken Füllung in einem Rahmen mit oder ohne Abschlüsse bestehen.
VDI 2719	Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen	Auflistung der wesentlichen Kenngrößen für die Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen.

5.5.4 Betrachtung der übrigen Bauteile der Gebäudehüllfläche

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN 18195-1-10	Bauwerksabdichtungen - Teil 1: Grundsätze, Definitionen, Zuordnungen der Abdichtungsarten Teil 2: Stoffe Teil 3: Anforderungen an den Untergrund und Verarbeitung der Stoffe Teil 4: Abdichtungen gegen Bodenfeuchte (Kapillarwasser, Haftwasser) und nichtstauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden - Bemessung und Ausführung Teil 5: Abdichtungen gegen nichtdrückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen - Bemessung und Ausführung Teil 6: Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser und aufstauendes Sickerwasser, Bemessung und Ausführung Teil 7: Abdichtungen gegen von innen drückendes Wasser - Bemessung und Ausführung Teil 8: Abdichtungen über Bewegungsfugen Teil 9: Durchdringungen, Übergänge, An- und Abschlüsse Teil 10: Schutzschichten und Schutzmaßnahmen	Festlegung von Anforderungen an die Abdichtung von Bauwerken.
DIN 18531-1-4	Dachabdichtungen - Abdichtungen für nicht genutzte Dächer - Teil 1: Begriffe, Anforderungen, Planungsgrundsätze Teil 2: Stoffe Teil 3: Bemessung, Verarbeitung der Stoffe, Ausführung der Dachabdichtungen Teil 4: Instandhaltung	Festlegung der Planung und Ausführung von Abdichtungen für nicht genutzte Dächer aus bahnenförmigen und flüssig aufzubringenden Stoffen bei Neubauten sowie für Instandhaltung und Dacherneuerung. Auch gültig für Abdichtungen von extensiv begrünten Dachflächen.

EN 13859-1	Abdichtungsbahnen - Definitionen und Eigenschaften von Unterdeck- und Unterspannbahnen - Teil 1: Unterdeck- und Unterspannbahnen für Dachdeckungen	Festlegung der Eigenschaften von Unterdeck- und Unterspannbahnen, die unter der Dachdeckung zu verlegen sind. Festlegung von Anforderungen und Prüfverfahren und Bewertung der Konformität der Produkte.

5.5.5 Wärmebrücken

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN 4108 Bbl. 2	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele	Planungs- und Ausführungsbeispiele zur Verminderung von Wärmebrückenwirkungen. -Prinzipskizzen von Anschlussdetails aus dem Hochbau. - Darstellung von Planungs- und Ausführungsbeispielen unter dem Aspekt des Wärmeschutzes. Beiblatt berücksichtigt nicht alle der bei Gebäuden auftretenden Wärmebrücken.
DIN 4108-2 (EDIN 4108-2)	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz	Festlegung von Mindestanforderungen an die Wärmedämmung von Bauteilen und im Bereich von Wärmebrücken in der Gebäudehülle. Festlegung von Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz.
EN ISO 10077-1-2	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1: Allgemeines Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen	Festlegung der Ermittlungsverfahren von Wärmedurchgangskoeffizienten bei Fenstern und Türen, die aus einer Verglasung und/oder opaken Füllung in einem Rahmen mit oder ohne Abschlüsse bestehen.
EN ISO 10211	Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen	Festlegung von Spezifikationen für geometrische 3-D- und 2-D-Modelle von Wärmebrücken zur numerischen Berechnung.

6 Sommerlicher Wärmeschutz

Neben dem winterlichen Wärmeschutz stellt der sommerliche Wärmeschutz eine weitere wichtige bauphysikalische Planungsaufgabe dar. Hierdurch soll gewährleistet werden, dass sommerliche Überhitzungen und die beim Einsatz von Kühlgeräten entstehenden Energieaufwendungen durch eine entsprechende Planung und Ausführung gering gehalten werden.

Wärmeeinträge durch transparente Bauteile eines Gebäudes tragen zur Erhöhung sommerlicher Raumtemperaturen bei. Während beispielsweise große Fensterflächen in den entsprechenden Orientierungen aufgrund ihrer hohen passiven Solarenergiegewinne für den winterlichen Heizfall von Vorteil sind, können diese in den Sommermonaten ohne vorbeugende Maßnahmen zu Überhitzungen in den Innenräumen führen. Weiterhin spielen die internen Wärmelasten in Nichtwohngebäuden eine wichtige Rolle, die besonders in Büro- und Verwaltungsgebäuden mit hoher Dichte von elektrischen Geräten, Personen und Beleuchtungseinrichtungen (etc.) zum Tragen kommen.

Raumtemperaturen, die sich während der Sommerperiode im Gebäude einstellen, sind unter anderem abhängig von folgenden Faktoren:

- Standort des Gebäudes
- Größe, Orientierung und Gesamtenergiedurchlassgrad transparenter Außenbauteile
- Art und Anwendung von Sonnenschutzvorrichtungen
- Speicherfähigkeit von Außen- und Innenbauteilen
- Einsatz von Lüftungsanlagen / Nachtlüftungskonzepten
- Einsatz von aktiver / passiver Kühlung
- Interne Wärmelasten
- Wärmedurchlasswiderstand opaker Außenbauteile
- Luftdichtheit des Gebäudes

6.1 Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz

Die Anforderungen an den sommerlichen (Mindest-)Wärmeschutz werden in der DIN 4108-2 „Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“ geregelt. Die Fassung der Norm aus dem Jahr 2003 [DIN4108-2] wird derzeit fortgeschrieben bzw. überarbeitet. Aktuell ist eine Entwurfsfassung der DIN 4108-2:2011 [EDIN4108-2] veröffentlicht. Für Anfang 2013 ist mit dem Erscheinen der neuen Normenfassung zu rechnen.

Folgende Ziele standen bei der Überarbeitung der normativen Vorgaben für den Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz im Vordergrund:

- Anpassung der Nachweisverfahren an aktuelle Klimarandbedingungen
- Verbesserter Abgleich zwischen vereinfachtem Verfahren und Simulation
- Unterscheidung zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden auch im vereinfachten Verfahren
- Überprüfung und Erweiterung der Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Nachtlüftung im Rahmen der Nachweisführung
- Berücksichtigung passiver Kühlung

Für das vereinfachte Verfahren ändert sich die Ermittlung des zulässigen Sonneneintragskennwertes wie folgt:

- Zusammenfassung von Klimaregion, Bauart, Nachtlüftung und Nutzung in einen anteiligen Sonneneintragskennwert
- Einführung eines anteiligen Sonneneintragskennwertes zur Korrektur des Verfahrens in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil
- Zusätzlicher anteiliger Sonneneintragskennwert für passive Kühlung

Im folgenden Abschnitt werden die wesentlichen Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz näher erläutert. Dabei wird auch auf die Änderungen der Neufassung der DIN 4108-2 gegenüber der alten Norm aus dem Jahr 2003 eingegangen.

6.1.1 Nachweisverfahren zum sommerlichen Wärmeschutz

Wird ein bestimmter Fensterflächenanteil, der sich auf die Grundfläche bezieht, nicht überschritten, so kann auf einen Nachweis für den sommerlichen Wärmeschutz verzichtet werden. Der zulässige Fensterflächenanteil ist abhängig von Orientierung und Neigung des Glases und liegt zwischen 7 % und 15 % (Tabelle 3).

Werden die in Tabelle 3 aufgeführten Fensterflächenanteile überschritten, muss ein Nachweis für den sommerlichen Wärmeschutz mit standardisierten Randbedingungen nach DIN V 4108-2 erbracht werden. Der Nachweis zur Einhaltung der Anforderungen ist für „kritische“ Räume bzw. Raumbereiche an der Außenfassade zu führen. Alternativ zum Sonneneintragskennwerte-Verfahren ist auch ein Nachweis mittels einer Simulationsrechnung zulässig.

6.1.2 Allgemeine Randbedingungen: Klimaregionen und Speichermasse

Um regionale Unterschiede der sommerlichen Klimaverhältnisse berücksichtigen zu können, wird das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland in drei Sommer-Klimaregionen gegliedert. Die Zuordnung der Klimaregion zum individuellen Standort erfolgt nach einer Klimakarte (Bild 15).

Tabelle 3: Zulässige Werte des Grundflächen bezogenen Fensterflächenanteils, unterhalb dessen auf einen Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz verzichtet werden kann [DIN4108-2].

Spalte	1	2	3
Zeile	**Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen**	**Orientierung der Fenster[b]**	**Grundflächen bezogener Fensterflächenanteil[a] f_{WG} %**
1	Über 60 ° bis 90 °	Nord-West über Süd bis Nord-Ost	10
2	Über 60 ° bis 90 °	Alle anderen Nordorientierungen	15
3	Von 0° bis 60 °	Alle Orientierungen	7
a	Der Fensterflächenanteil f_{WG} ergibt sich aus dem Verhältnis der Fensterfläche zu der Grundfläche des betrachteten Raumes oder der Raumgruppe. Sind beim betrachteten Raum bzw. der Raumgruppe mehrere Fassaden oder z.B. Erker vorhanden, ist f_{WG} aus der Summe aller Fensterflächen zur Grundfläche zu berechnen.		
b	Sind beim betrachteten Raum mehrere Orientierungen mit Fenstern vorhanden, ist der kleinere Grenzwert für f_{WG} bestimmend.		

Diese wurde aufgrund von neuen Klimadaten [BBR] in der vorgesehenen Neufassung der DIN 4108-2 angepasst. Wie die Klimakarte wurde auch die gesamte Nachweismethodik an die sich verändernden klimatischen Verhältnisse und daraus erwachsender neuer Anforderungen modifiziert.

Die Speicherfähigkeit eines Gebäudes ist abhängig von den verwendeten Materialien und der daraus resultierenden wirksamen Wärmekapazität. Es wird dabei zwischen leichter, mittlerer und schwerer Bauart unterschieden. Die schwere Bauart stellt dabei für den sommerlichen Wärmeschutz günstigsten Ausgangsfall dar, da sie in der Lage ist, die größten Wärmemengen zu speichern und zeitversetzt wieder abzugeben. Liegen keine Informationen über die zum Einsatz kommenden Materialien und Konstruktionen vor, so kann auf der sicheren Seite liegend immer die leichte Bauart in Ansatz gebracht werden.

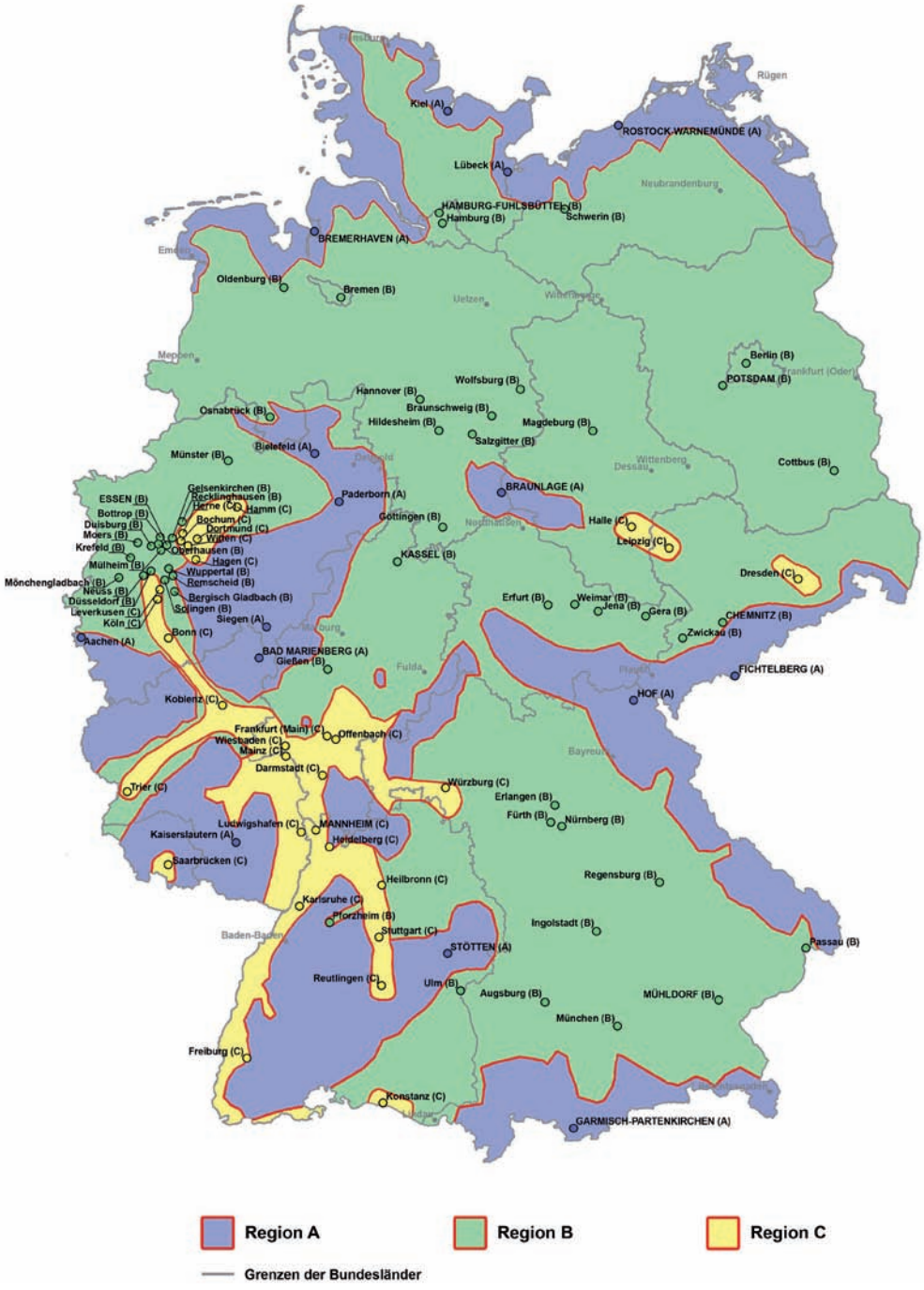


Bild 15: Sommer-Klimaregionen gemäß Neufassung der DIN 4108-2

6.1.3 Verfahren Sonneneintragskennwerte [EDIN4108-2]

Die Verfahrensstruktur zur Ermittlung der Sonneneintragskennwerte bleibt in der Neufassung der DIN 4108-2 weitgehend unverändert. Der Nachweis zur Einhaltung der Anforderungen gilt als erbracht, wenn der vorhandene Sonneneintragskennwert den zulässigen nicht übersteigt:

$$S_{vorh} \leq S_{zul}$$

Für den hinsichtlich der sommerlichen Überhitzung zu untersuchenden Raum oder Raumbereich ist der vorhandene Sonneneintragskennwert nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$S_{vorh} = \Sigma_j \frac{(A_{w,j} \cdot g_{total,j})}{A_G}$$

mit $A_{w,j}$ [m²] Fensterfläche

g_{total} [-] Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases einschließlich Sonnenschutz

$g_{total} = g \cdot F_C$

Dabei ist F_C der Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen (Tabelle 4).

A_G [m²] Nettogrundfläche des Raumes oder Raumbereichs

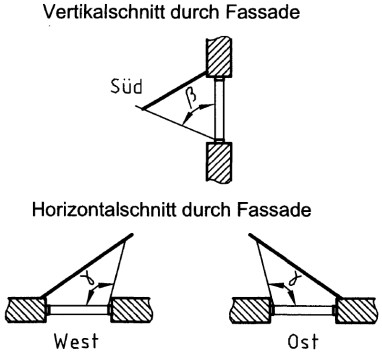
Der g_{total}-Wert beschreibt den Gesamtenergiedurchgang bezogen auf die Kombination Fenster und Sonnenschutz. Einfluss auf den g_{total}-Wert nehmen zum einen der Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases (g-Wert), zum anderen der Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes (F_C-Wert).

Die Größe g_{total} kann darüber hinaus auch nach EN 13363-1 [EN13363-1], EN 13363-2 [EN13363-2] oder angelehnt nach EN 410 [EN410] bzw. gemäß zugesicherter Herstellerangaben in Ansatz gebracht werden.

Tabelle 4: Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit von der Glasart gemäß Neufassung der DIN 4108-2.

Zeile	Sonnenschutzvorrichtung [a]	zweifach Sonnenschutzglas	dreifach Wärmedämmglas	zweifach Wärmedämmglas
1	**ohne Sonnenschutzvorrichtung**	1,00	1,00	1,00
2	**Innenliegend oder zwischen den Scheiben [b]**			
2.1	weiß oder hochreflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz [c]	0,65	0,70	0,65
2.2	helle Farben oder geringe Transparenz [d]	0,75	0,80	0,75
2.3	dunkle Farben oder höhere Transparenz	0,90	0,90	0,85
3	**Außenliegend**			
3.1	Fensterläden, Rollläden			
3.1.1	Fensterläden, Rollläden, ¾ geschlossen	0,35	0,30	0,30
3.1.2	Fensterläden, Rollläden, geschlossen [e]	0,15	0,10	0,10
3.2	Jalousie und Raffstore; drehbare Lamellen			
3.2.1	Jalousie und Raffstore; drehbare Lamellen, 45° Lamellenstellung	0,30	0,25	0,25
3.2.2	Jalousie und Raffstore; drehbare Lamellen, 10° Lamellenstellung [e]	0,20	0,15	0,15
3.3	Markise, parallel zur Verglasung	0,30	0,25	0,25
3.4	Vordächer, Markisen allgemein, freistehende Lamellen [f]	0,55	0,50	0,50

[a] Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung
[b] für innenliegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen,
[c] hochreflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz, Transparenz ≤ 10 %, Reflexion ≥ 60 %
[d] geringe Transparenz, Transparenz < 15 %
[e] durch den geschlossenen Sonnenschutz ist sehr geringer bis kein Einfall des natürlichen Tageslichts vorhanden.
[f] Bauliche Verschattungen durch eigene oder fremde Gebäude können geometrisch berücksichtigt werden.
Dabei muss näherungsweise sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Dies ist der Fall, wenn
- bei Südorientierung der Abdeckwinkel β ≥ 50° ist;
- bei Ost- und Westorientierung der Abdeckwinkel β ≥ 85° ist γ ≥ 115° ist
Der F_C-Wert darf auch für beschattete Teilflächen des Fensters angesetzt werden.
Zu den jeweiligen Orientierungen gehören Winkelbereiche von + 22,5°.
Bei Zwischenorientierungen ist der Abdeckwinkel β ≥ 80° erforderlich.



DIN 4108-2 fordert eine Einhaltung des höchstzulässigen Sonneneintragskennwertes S_{zul}, der sich aus mehreren anteiligen Kennwerten S_x zusammensetzt. Diese sind abhängig von der Klimaregion, Bauart, Nachtlüftung, Sonnenschutzglas, Fensterorientierung und -neigung (Tabelle 5). Dabei werden in der aktuellen Entwurfsfassung der Norm gegenüber der DIN 4108-2:2003 Klimaregion, Bauart, Nachtlüftung und Nutzung in einem anteiligen Sonneneintragskennwert zusammengefasst. Einzelne Kennwerte für Klimaregion und Bauart entfallen demnach. Zusätzlich werden anteilige Sonneneintragskennwert für den grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil sowie passive Kühlung vorgesehen. Darüber hinaus wird in der Neufassung der DIN 4108-2 zwischen Wohn- und Nichtwohngebäudenutzung unterschieden.

Für jede dieser Anteile wird ein Kennwert S_x bestimmt und die Aufsummation der anteiligen Werte ergibt den zulässigen Sonneneintragskennwert:

$$S_{zul} = \sum S_x$$

Bei dieser Bewertungsmethodik handelt es sich um ein vereinfachtes Verfahren. So wird beispielsweise pauschal von einem Rahmenanteil von 30 % ausgegangen. Weicht der reale Rahmenanteil stark davon ab und soll differenziert berechnet werden, so kann auf die bereits erwähnten Simulationsrechnungen zurückgegriffen werden. Hierzu wurde eine neue Anforderungsgröße formuliert. Während sich zuvor die Anforderungsgröße auf die Überschreitungshäufigkeiten der Grenzwerte der Innentemperaturen bezog, fordert die neue Fassung eine Einhaltung von Übertemperaturgradstunden. Auf diese Weise wird neben der Überschreitungshäufigkeit auch die Höhe der Temperaturüberschreitung mit einbezogen. Die Höchstwerte der Übertemperaturgradstunden sind in Tabelle 6 abgebildet.

Die Bezugswerte der Innentemperatur variieren nach wie vor je nach Sommer-Klimaregion. Grund hierfür ist zum einen, dass von einer Adaption des Menschen an das vorliegende Außenklima auszugehen ist. Zum anderen würde ein einheitlicher Bezugswert verhindern, dass in den wärmeren Klimaregionen eine ausreichende Tageslichtversorgung stattfinden kann, da die Anforderungen nur mit einem geringen Fensterflächenanteil erfüllt werden könnten.

Die bisher gültige Fassung der DIN 4108-2 beinhaltet außerdem nur unzureichende Festlegung zu den Berechnungsrandbedingungen, die bei dynamisch thermischen Simulationen heranzuziehen sind. Die Neufassung hingegen gibt alle wesentlichen Randbedingungen vor, um eine bessere Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

Tabelle 5: Anteilige Sonneneintragskennwerte zur Bestimmung des zulässigen Sonneneintragskennwertes gemäß Neufassung der DIN 4108-2.

			Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x					
Nutzung			**Wohngebäude**			**Nichtwohngebäude**		
Klimaregion [a]			**A**	**B**	**C**	**A**	**B**	**C**
s_1	Nachtlüftung	Bauart [b]						
	ohne	leicht	0,071	0,056	0,041	0,013	0,007	0,000
		mittel	0,080	0,067	0,054	0,020	0,013	0,006
		schwer	0,087	0,074	0,061	0,025	0,018	0,011
	erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 2\ h^{-1}$ [c]	leicht	0,098	0,088	0,078	0,071	0,060	0,048
		mittel	0,114	0,103	0,092	0,089	0,081	0,072
		schwer	0,125	0,113	0,101	0,101	0,092	0,083
	hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5\ h^{-1}$ [d]	leicht	0,128	0,117	0,105	0,090	0,082	0,074
		mittel	0,160	0,152	0,143	0,135	0,124	0,113
		schwer	0,181	0,171	0,160	0,170	0,158	0,145
s_2	**Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG}** [e]							
	$S_2 = a - b * f_{WG}$	a	0,060			0,030		
		b	0,231			0,115		
s_3	**Sonnenschutzglas** [f]							
	Fenster mit Sonnenschutzglas mit $g \leq 0,4$		0,03					
s_4	**Fensterneigung** [g]							
	0° ≤ Neigung ≤ 60° (gegenüber der Horizontalen)		$-0,035\ f_{neig}$ [g]					
s_5	**Orientierung**							
	Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fenster soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen > 60° ist sowie Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind		$+0,10\ f_{nord}$ [h]					
s_6	**Einsatz passiver Kühlung** [j]							
	Bauart							
	leicht		0,02					
	mittel		0,04					
	schwer		0,06					

Tabelle 5 (fortgesetzt)

[a] Ermittlung der Klimaregion nach Bild 16.

[b] Ohne Nachweis der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit ist von leichter Bauart auszugehen, wenn keine der im Folgenden genannten Eigenschaften für mittlere oder schwere Bauart nachgewiesen sind.
Vereinfachend kann von
• mittlerer Bauart ausgegangen werden, wenn folgende Eigenschaften vorliegen:
- Stahlbetondecke
- massive Innen- und Außenbauteile (mittlere Rohdichte ≥ 600 kg/m³);
- keine innenliegende Wärmedämmung an den Außenbauteilen.
- keine abgehängte oder thermisch abgedeckte Decke;
- keine hohen Räume (> 4,5 m) wie z.B. Turnhallen, Museen usw.
• schwerer Bauart ausgegangen werden, wenn folgende Eigenschaften vorliegen:
- Stahlbetondecke
- massive Innen- und Außenbauteile (mittlere Rohdichte ≥ 1600 kg/m3);
- keine innenliegende Wärmedämmung an den Außenbauteilen.
- keine abgehängte oder thermisch abgedeckte Decke;
- keine hohen Räume (> 4,5 m) wie z.B. Turnhallen, Museen usw.
Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit darf auch nach DIN EN ISO 13786 (Periodendauer 1d) für den betrachteten Raum bzw. Raumbereich bestimmt werden, um die Bauart einzuordnen; dabei ist folgende Einstufung vorzunehmen:
- leichte Bauart liegt vor, wenn $C_{wirk} / A_G < 50$ Wh/(K · m²)
mit C_{wirk} wirksame Wärmekapazität;
A_G Nettogrundfläche;
- mittlere Bauart liegt vor, wenn 50 Wh/(K · m²) ≤ $C_{wirk} / A_G \leq 130$ Wh/(K · m²);
- schwere Bauart liegt vor, wenn $C_{wirk} / A_G > 130$ Wh/(K · m²).

[c] Bei der Wohnnutzung kann in der Regel von der Möglichkeit zu erhöhter Nachtlüftung ausgegangen werden.
Der Ansatz der erhöhten Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn durch eine Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens n = 2 h-1 sichergestellt werden kann.

[d] Von hoher Nachtlüftung kann ausgegangen werden, wenn für den zu bewertende Raum oder Raumbereich die Möglichkeit besteht, geschossübergreifende Nachtlüftung zu nutzen (z.B. über angeschlossenes Atrium, Treppenhaus oder Galerieebene).
Der Ansatz der hohen Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt ist, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens n = 5 h^{-1} sichergestellt wird.

[e] $f_{WG} = A_W / A_G$
mit A_W Fensterfläche;
A_G Nettogrundfläche.

Hinweis: Die durch S_1 vorgegebenen anteiligen Sonneneintragskennwerte gelten für grundflächenbezogene Fensterflächenanteile von etwa 25 %. Durch den anteiligen Sonneneintragskennwert S_2 erfolgt eine Korrektur des S_1-Wertes in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil, wodurch die Anwendbarkeit des Verfahrens auf Räume mit grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen abweichend von 25 % gewährleistet wird. Für Fensterflächenanteile kleiner 25 % wird S_2 positiv, für Fensterflächenanteile größer 25 % wird S_2 negativ.

[f] Als gleichwertige Maßnahme gilt eine Sonnenschutzvorrichtung, welche die diffuse Strahlung nutzerunabhängig permanent reduziert und hierdurch ein $g_{tot} \leq 0{,}4$ erreicht wird. Bei Fensterflächen mit unterschiedlichem gtot wird S_3 flächenanteilig gemittelt:
$S_3 = 0{,}03 \cdot A_{W,gtot \leq 0,4} / A_{W,gesamt}$
Dabei ist
$A_{W,gtot \leq 0,4}$ die geneigte Fensterfläche mit $g_{tot} \leq 0{,}4$;
$A_{W,gesamt}$ die gesamte Fensterfläche.

[g] $f_{neig} = A_{W,neig} / A_{W,gesamt}$
Dabei ist
$A_{W,neig}$ die geneigte Fensterfläche;
$A_{W,gesamt}$ die gesamte Fensterfläche.

[h] $f_{nord} = A_{W,nord} / A_{W,gesamt}$
Dabei ist $A_{W,nord}$ die Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fensterfläche soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen > 60° ist sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind;

$A_{W,gesamt}$ die gesamte Fensterfläche. Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet werden: werden für die Verschattung Fs Werte nach DIN V 18599-2:2011-12 verwendet, so ist für jene Fenster S_5=0 zu setzen.

[i] Gegebenenfalls flächenanteilig gemittelt zwischen der gesamten Fensterfläche und jener Flächenfläche, auf die diese Bedingung zutrifft.

Tabelle 6: Zugrunde gelegte Bezugswerte der Innentemperaturen für die Sommer-Klimaregionen und Übertemperaturgradstunden-Anforderungswerte gemäß Neufassung der DIN 4108-2.

Sommer-Klimaregion	Bezugswert $\Theta_{b,op}$ der Innentemperatur ° C	Anforderungswert Übertemperaturgradstunden Kh/a	
		Wohngebäude	Nichtwohngebäude
A	25	1200	500
B	26		
C	27		

6.2 Begrenzung des Energieeintrages

Um den sommerlichen Wärmeschutz und somit akzeptable Raumtemperaturen zu gewährleisten, stellt die Begrenzung des Energieeintrags in den Innenraum eine der wichtigsten Maßnahmen dar. Größe und Anordnung von Fenstern in Verbindung mit dem Einsatz eines effektiven Sonnenschutzes stellen hierbei bedeutsame Planungsgrößen dar.

Die Effizienz eines Gesamtsystems (Fenster und Sonnenschutz) sollte immer unter Berücksichtigung der Beeinflussung der Einzelkomponenten untereinander bestimmt werden. Beispielsweise nimmt die Positionierung des Sonnenschutzes einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz. Weiterhin zu beachten ist, dass bei Systemen mit geringem Gesamtenergiedurchlassgrad (g_{total}-Wert) auch immer mit einer Reduktion der Tageslichtdurchlässigkeit und somit einer Erhöhung des Kunstlichtbedarfs zu rechnen ist.

In Bürogebäuden beispielsweise kann der Fall auftreten, dass zu einem Großteil der Nutzungszeit künstliche Beleuchtung zugeschaltet wird, obwohl genug Tageslicht vorhanden ist, um die Räume ausreichend zu belichten [Volz]. Das Problem besteht darin, dass direktes Sonnenlicht, insbesondere an Bildschirmarbeitsplätzen, zur Blendung führt und herkömmliche Verschattungselemente den Raum zu sehr verdunkeln. Hier wird die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Tageslichtplanung deutlich, durch die eine verbesserte Tageslichtausbeute im Innenraum erzielt werden kann.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung des Energieeintrags besteht - wie bereits zuvor erwähnt - in der Reduzierung interner Wärmeeinträge, z.B. durch die Verwendung energiesparender Geräte (beispielsweise TFT-Bildschirme anstelle von Bildröhren oder Leuchtstoffröhren anstelle von Glühlampen).

6.2.1 Optimierung des Glases

Zur Reduzierung des Wärmeeintrages im Sommer sollte u.a. die Optimierung des Fensterglases Bestandteil der Planung sein. Eine Möglichkeit zur Reduzierung des Energieeintrags besteht in der Verwendung von Sonnenschutzgläsern mit reduziertem Gesamtenergiedurchlassgrad. Zu beachten ist jedoch, dass die ausschließliche Verwendung ohne weiteren Sonnenschutz in den meisten Fällen (ohne aktive Kühlung) nicht ausreichend zur sicheren Gewährleistung von akzeptablen Raumtemperaturen ist.

Sogenannte „neutrale“ Sonnenschutzgläser zeichnen sich durch einen hohen Tageslichtanteil bei gleichzeitig hohem Sonnenschutz aus, es können heutzutage Selektivitätswerte von > 2 erreicht werden. Da der großzügige Einsatz von Glas besonders im Nichtwohngebäudebereich zu einem wesentlichen Stilelement avanciert ist, können die Gläser besonders in diesem Sektor Anwendung finden.

Eine Weiterentwicklung stellen schaltbare (elektrochrome) Sonnenschutzgläser dar (Bild 16). Während ein konventionelles Sonnenschutzglas ganzjährig die Verdunklung des Raumes bewirkt, auch wenn der Sonnenschutz wie im Winter oder den Übergangszeiten gar nicht zwingend erforderlich ist, verfärbt sich ein elektrochromes

Bild 16: Elektrochromes Glas (EControl-Sonnenschutzglas) [EControl].

Bild 17: Feststehender Sonnenschutz (Universität Kassel).

Sonnenschutzglas nur bei Bedarf. Das Schalten der Energie- und Lichtdurchlässigkeit ermöglicht eine Anpassung an die jeweiligen Erfordernisse. Anders als bei vielen beweglichen Sonnenschutzsystemen ermöglichen schaltbare Verglasungen auch bei Sonnenschutzfunktion eine gewisse Tageslichtnutzung und darüber hinaus den Sichtbezug nach außen [Voss].

6.2.2 Potentiale von Sonnen- und Blendschutzvorrichtungen

Sonnenschutzvorrichtungen nehmen mit zunehmendem Fensterflächenanteil einen wesentlichen Einfluss auf den sommerlichen Wärmeschutz und die damit verbundene Behaglichkeit in einem Gebäude. Bezogen auf die Tätigkeit, die in Nichtwohngebäuden verübt wird, nimmt außerdem die Begrenzung der Störungen durch blendenden Lichteinfall eine entscheidende Rolle ein, die im Wohngebäudebereich eine eher untergeordnete Bedeutung besitzt.

Während ein Sonnenschutz also zur Gewährleistung akzeptabler Raumtemperaturen (thermische Behaglichkeit) beiträgt und demnach seine Funktion überwiegend in den Sommermonaten erfüllt, reduziert ein Blendschutz ganzjährig unerwünschte Blendungen oder Reflexionen durch Lichteinfall (visuelle Behaglichkeit). Eine Trennung der Systeme in ein Blend- und ein Sonnenschutzsystem ist zwar in der Umsetzung aufwändiger, bietet jedoch die Möglichkeit einer besseren Regulierung je nach jahreszeitlichen Anforderungen. Durch diese Zweiteilung kann sowohl im Winter- als auch im Sommerhalbjahr der Schutzmechanismus so abgestimmt werden, dass entweder die Sonneneinstrahlung bereits vor oder erst hinter Glasscheibe abgeschirmt wird. Diese Grundvoraussetzung kann sich sowohl auf den Kühlkälte- als auch auf den Heizwärmebedarf positiv auswirken.

6.2.2.1 Sonnenschutzsysteme

Die richtige Anordnung von Sonnenschutzsystemen hat einen entscheidenden Einfluss auf den Energieverbrauch von Gebäuden. Berechnungen für Glasfassaden zeigen, dass gegenüber der Fassade ohne Sonnenschutz der Kühlkältebedarf beim Einsatz eines außenliegenden Sonnenschutzes auf weniger als die Hälfte reduziert werden kann. Die Verwendung eines innenliegenden Systems erzielt im Vergleich dazu lediglich eine Einsparung von 20 % gegenüber einer Fassade ohne Sonnenschutzsystem [Schittich].

Sonnenschutzvorrichtungen werden für die Ermittlung des Nachweises zum sommerlichen Wärmeschutz berücksichtigt. Dabei fließt diese Größe über einen Abminderungsfaktor (F_C-Wert) in die Berechnung des Gesamtenergiedurchlassgrades ein und bildet in Kombination mit dem g-Wert des Glases die Größe $g_{total,j}$. Kleine F_C-Werte können vorzugsweise mit außenliegenden Sonnenschutzsystemen erzielt werden.

Grundsätzlich ist zu erwähnen, dass sich ein Sonnenschutzsystem nicht nur positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz auswirkt, sondern über die Nutzung als temporärer Wärmeschutz auch eine Einsparung von Heizenergie möglich ist. Im Nichtwohngebäudebereich kommen für außenliegende Systeme in der Regel entweder Außenjalousien/Raffstores oder textiler Sonnenschutz zum Einsatz, die der Klasse 1 für die Luftdurchlässigkeit zugeordnet sind, wodurch in etwa ein zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand $\Delta R = 0{,}08$ m²K/W erreicht werden kann. Die typischen ΔR-Werte für innenliegende Systeme betragen gemäß EN 13125 [EN13125] je nach Luftdichtheitsklasse Werte von $\Delta R = 0{,}08 - 0{,}14$ m²K/W [RS].

Der Sonnenschutz kann prinzipiell außenliegend, innenliegend oder zwischen den Scheiben angeordnet werden.

Außenliegender Sonnenschutz

Mit einem außenliegenden Sonnenschutz lässt sich die beste Sonnenschutzwirkung erzielen, da er das Fenster verschattet und dadurch den Strahlungswärmeeintrag in den Raum reduziert. Er wird auf der Außenseite der Fassade am Fensterprofil oder in der Dämmebene befestigt. Die Wirkung des außenliegenden Sonnenschutzes ist sehr effektiv, weshalb in der Regel keine weiteren Sonnenschutzmaßnahmen notwendig sind [Kaag].

Wird ein außenliegender Sonnenschutz auch im Winter als Blendschutz genutzt, dann reduzieren sich die erwünschten passiven Solarenergiegewinne, wodurch der Energiebedarf des Gebäudes für die Beheizung ansteigen kann [Voss].

Ein außenliegendes System kann aufgrund extremer Windverhältnisse in großen Höhen und an exponierten Stellen möglicherweise nicht zur Anwendung kommen. Bei derartigen Witterungsbedingungen kann die Verwendung eines im Fassadenzwischenraum einer Doppelfassade installierter Sonnenschutz eine Lösung darstellen. Aufgrund des veränderten Erscheinungsbildes durch die Anbringung eines außenliegenden Sonnenschutzes sind mögliche Denkmalschutzaspekte zu berücksichtigen.

Außenliegende Sonnenschutzsysteme können beispielsweise als Raffstore oder Markisen realisiert werden, weiterhin existieren starre Systeme. Der Nachteil von starren Sonnenschutzsystemen besteht jedoch in der fehlenden Flexibilität, um es den entsprechenden Bedingungen anzupassen (Bild 17). So wird nur eine ausreichende Wirkung erzielt, wenn die Weite der Auskragung groß genug ist und die Sonne sehr hoch steht. Aus diesem Grund sind solche Systeme i.d.R. ausschließlich auf der Südseite wirkungsvoll.

Innenliegender Sonnenschutz

Ist der Sonnenschutz im Rauminneren angeordnet (Bild 18), gelangt die Sonnenenergie in den Raum und führt dort zu einer Erwärmung, da die Wärmestrahlen durch das Glas nicht mehr nach außen abtransportiert werden können. Durch einen innenliegenden Sonnenschutz kann jedoch verhindert werden, dass die im Raum befindlichen Gegenstände direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt werden und dementsprechend zusätzlich zur Raumerwärmung beitragen [Kaag].

Ein innenliegendes System ist dementsprechend bezüglich der Reduzierung der Kühllasten eines Gebäudes im Vergleich zu einem außen angeordneten Sonnenschutz weniger effektiv. Dafür ist ein innenliegender Sonnenschutz vor äußeren Umwelteinflüssen wie Wind oder Regen geschützt, darüber hinaus nimmt er keinen Einfluss auf das äußere Erscheinungsbild der Fassade. Ein nachträglicher Sonnenschutz von innen ist im Falle einer Sanierung relativ einfach und kostengünstig zu realisieren. Auflagen, beispielsweise im Bereich des Denkmalschutzes, erlauben häufig keine nachträgliche Anbringung eines außenliegenden Systems, weshalb in diesen Fällen auf einen innenliegenden Sonnenschutz zurückgegriffen werden kann.

Als Bauarten stehen beispielsweise Innenjalousien oder Rollos zur Verfügung. Alternativ kann auch die Nutzung eines Folienrollos in Erwägung gezogen werden. Je nach Ausführung können Folien mehr oder weniger transparent hergestellt werden, was sich auf den F_C-Wert auswirkt. Erfolgt die Bedienung der Rollos zudem von unten nach oben, kann im oberen Fensterbereich ein ausreichender Tageslichteinfall gewährleistet werden, während der Arbeitsbereich ausreichend verschattet ist. Der Vorteil im Vergleich zu einer aufgeklebten Folie, die als Sonnenschutzmaßnahme an die Fensterscheiben angebracht werden kann, liegt darin, dass ein Folienrollo ein bewegliches System darstellt, das je nach Bedarf mehr oder weniger Licht in den Raum einfallen lässt [Kaag].

Bild 18: Innenliegender Sonnenschutz (Universität Kassel).

Eine weitere Variante stellt ein Verbundfenstersystem mit Sonnenschutz hinter der äußeren Scheibe dar.

Zwischen den Scheiben des Isolierglases angeordneter Sonnenschutz

Ein zwischen den Scheiben des Isolierglases angeordneter Sonnenschutz kann einen Kompromiss zwischen Auflagen, beispielsweise im Bereich des Denkmalschutzes, und Wirksamkeit darstellen. Die Sonnenschutzfunktion im Scheibenzwischenraum kann beispielsweise durch Lamellen, Jalousien, Gitter, Gewebe, Folien (etc.) gewährleistet werden. Da die Elemente wind- und wettergeschützt sind, entsteht kein Wartungs- und Reinigungsaufwand. Es sollte beachtet werden, dass im Scheibenzwischenraum teilweise sehr hohe Temperaturen von bis zu 80 °C auftreten können, die nicht zur Materialschwächung führen dürfen. Anderenfalls kann es zur Beschädigung des gesamten Scheibensystems kommen.

6.2.2.2 Blendschutzsysteme

Der wesentliche Unterschied von Sonnen- und Blendschutzsystemen besteht in der Reduzierung von hohen Leuchtdichtekontrasten. Ohne Rücksicht auf die Wärmeeinstrahlung kann ein Blendschutz durchaus effektiv sein, wenn er raumseitig angeordnet ist. Er ist in Räumen sinnvoll, in denen die Sehleistung und der Sehkomfort durch äußere Störeinflüsse beeinträchtigt werden. Dies kann beispielsweise Schulen oder Büros betreffen. Typische innenliegende Blendschutzsysteme sind Jalousien, Vorhänge, Folien oder transluzente Verglasungen. Laut Angaben des Bundesverbands Rollladen und Sonnenschutz e.V. ist ein Trend zur Funktionstrennung zwischen Sonnen- und Blendschutzsystemen im Nichtwohngebäudebereich zu verzeichnen, da auf diese Weise auf die je nach Jahreszeit unterschiedlichen Anforderungen an thermische und visuelle Behaglichkeit im Innenraum individuell reagiert werden kann [RS1].

6.2.2.3 Tageslichtlenksysteme

Der Bedarf an Kunstlicht nimmt im Nichtwohngebäudebereich eine wesentlich größere Rolle ein als es bei Wohngebäuden der Fall ist. Aus diesem Grund sollten verändernde Maßnahmen, die am Gebäude getroffen werden, auch immer unter diesem Aspekt betrachtet werden. Das nachträgliche Anbringen von Sonnenschutzvorrichtungen und Verschattungssystemen hat einen direkten Einfluss auf den Kunstlichtbedarf.

Die Systeme sollten im Idealfall so beschaffen sein, dass sie Innenräume auch im geschlossenen Zustand mit ausreichend Tageslicht versorgen. Alle Sonnenschutzmaßnahmen, die über keine besonderen Maßnahmen zur Lichtlenkung und Raumausleuchtung verfügen, verhindern den Einfall eines erheblichen Teils des nutzbaren Tageslichts und erhöhen hierdurch den Strombedarf für die notwendige künstliche Beleuchtung. Systeme für optimierte Tageslichtnutzung werden daher eingesetzt, um in Gebäuden den Einsatz von künstlicher Beleuchtung zu reduzieren und den Komfort und die Zufriedenheit der Nutzer zu gewährleisten.

Tageslichtlenksysteme stellen technische Einrichtungen dar, die durch Lichtreflexion, Lichtbrechung, Lichtbeugung oder deren Kombination Tageslicht in die Raumtiefe bzw. an die Decke umlenken. Auf diese Weise soll eine Reduzierung der hohen Beleuchtungsstärken in Fensternähe zugunsten einer höheren Beleuchtungsstärke in der Raumtiefe und einer besseren Gleichmäßigkeit der Raumausleuchtung erzielt werden [Volz].

Lichtlenksysteme sollten überall dort zum Einsatz kommen, wo infolge großer Raumtiefen eine unmittelbare Nutzung des Tageslichts nicht möglich ist oder besondere Anforderungen an den Sehkomfort gestellt werden. Maßnahmen zur optimierten Nutzung des Tageslichts sind eng an Sonnenschutzmaßnahmen gebunden bzw. stehen in gegenseitiger Wechselbeziehung, denn die Auswahl eines Sonnenschutzsystems hat einen großen Einfluss auf die Versorgung des Raumes mit Tageslicht [Schittich].

Die Grundidee der meisten tageslichtlenkenden Systeme besteht darin, im oberen Bereich des Fensters Licht umzulenken und es, teilweise über Reflexion an der Decke, in die hintere Hälfte des Raumes weiterzuleiten. Es kommen häufig Jalousien zum Einsatz, bei denen der Lamellenneigungswinkel über die Höhe unterschiedlich einstellbar ist. Die oberen Lamellen werden also weniger stark als die unteren geneigt. Auf diese Weise lassen sich sowohl eine Sonnenschutzwirkung als auch eine Lichtlenkwirkung erzielen. Darüber hinaus existiert heute eine Vielzahl an Weiterentwicklungen von Systemen wie beispielsweise lichtlenkende Verglasungen oder Lamellen.

6.3 Wärmeabfuhr

Die Abfuhr der Wärme bietet, neben der Begrenzung des Energieeintrages, eine zweite Möglichkeit zur Begrenzung der Raumtemperatur in den Sommermonaten auf ein annehmbares Maß. Neben der aktiven Raumkühlung besteht die effektivste Maßnahme in der natürlichen Raumlüftung.

Die natürliche oder auch freie Lüftung zeichnet sich dadurch aus, dass die Luft nur durch die natürlichen Antriebskräfte transportiert wird. Der Antrieb der Luftbewegung erfolgt dabei durch Druckdifferenzen zwischen dem Innen- und dem Außenraum infolge Windanströmung oder ausschließlich infolge einer Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft. Der resultierende Volumenstrom ist dabei abhängig von der Höhe der Druck- und/oder Temperaturdifferenz sowie von dem Strömungswiderstand. Relevant sind Form und Größe der Öffnungsflächen sowie ihre Lage zueinander. Da der Volumenstrom bei kleineren Strömungswiderständen größer ist, sind ausreichend große Lüftungsöffnungen bei der Planung zu berücksichtigen. Die einfachste Form der Lüftung ist die Fensterlüftung. Ihre Wirksamkeit ist im Wesentlichen von der Höhe des Fensters sowie ggf. der Höhendifferenz zweier Lüftungsöffnungen und ihrer freien Querschnittsfläche abhängig [Lenz].

6.3.1 Arten der freien Lüftung

Es existieren unterschiedliche Varianten der freien Lüftung, die im Folgenden kurz erläutert werden. Bei der einseitigen Fensterlüftung kann jeder Raum über ein geöffnetes Fenster über Nacht be- und entlüftet werden. Auf diese Weise kann eine Luftwechselrate von bis zu ca. 3 h^{-1} erzielt werden. Im Gegensatz zur einseitigen Fensterlüftung kann mit dem Windeinfluss der Luftwechsel durch Querlüftung deutlich erhöht werden. Hierbei strömt die Luft durch das komplette Gebäude. Zur Ermöglichung einer Querlüftung sollten Überströmöffnungen in den Türen oder Innenwänden angebracht werden. Bei Windstille entspricht diese Variante einer einseitigen Lüftung [Kaag]. Für die Auftriebslüftung müssen geeignete Lufträume wie Atrien oder Treppenhäuser zur Verfügung stehen, deren Fortluftauslass möglichst eine Geschosshöhe über dem obersten Geschoss liegt, um eine ausreichende Druckdifferenz zu gewährleisten.

Die Steuerung der freien Lüftung erfolgt am einfachsten durch den Nutzer selbst. Dieser ist jedoch als „Sensor“ für die Stoffkonzentration schon allein wegen der Adaptionsvorgänge der Sinne nur bedingt geeignet. Zudem kann eine Steuerung außerhalb der Nutzungszeiten nicht erfolgen, was besonders im Nichtwohngebäudebereich eine wesentliche Rolle spielt. Aus diesem Grund sollte eine sensorisch-motorische Steuerung der Fensterflügel in Erwägung gezogen werden.

6.3.2 Nachtlüftung

Durch eine effektive Nachtlüftung besteht die Möglichkeit, das sommerliche Raumklima in Innenräumen deutlich zu verbessern. Je höher die thermische Speichermasse in einem Raum oder Gebäude, umso größer ist das Potenzial hinsichtlich der Verbesserung der thermischen Verhältnisse. Auf diese Weise können Temperaturschwankungen innerhalb eines Gebäudes geglättet werden. Die maßgeblichen Stoffeigenschaften bezüglich der Speicherkapazität sind die Rohdichte sowie die spezifischen Wärmekapazität der Materialien, aus denen die raumumschließenden Bauteile gefertigt sind.

Schwere Bauteile sind in der Lage, große Wärmemengen aufzunehmen, ohne sich dabei selbst stark zu erwärmen. Im Sommer macht sich gerade bei Nichtwohngebäuden in Leichtbauweise die fehlende thermische Masse oft unangenehm bemerkbar. Solare und interne Wärmelasten führen hier schnell zu unakzeptablen Raumtemperaturen. Dies gilt in ähnlicher Weise für Gebäude, bei denen die massiven Bauteile durch abgehängte Decken, Akustikdecken oder Doppelböden thermisch entkoppelt sind [Voss].

Wird die Nachtlüftung durch Fensteröffnung gewährleistet, spielt besonders im Nichtwohngebäudebereich der Einbruchschutz eine wesentliche Rolle. Gegen das Aufhebeln, Einschlagen und Entriegeln von Fenstern werden, auch zur nachträglichen Integration, viele wirksame Sicherungen angeboten, die je nach Ausführung sowohl sichtbar als auch nicht sichtbar montiert werden können. Weitere Informationen zu diesen Themen können den Sicherungsrichtlinien für Geschäfte und Betriebe entnommen werden [VdS2333].

6.3.3 Phase-Change-Materials (PCM)

Sind sensible Speichermassen in einem Gebäude nicht vorhanden oder wie zuvor beschrieben thermisch entkoppelt und daher als wirksame Speichermasse nicht nutzbar, so können die Gebäude mit sogenannten Latentspeichermaterialien nachgerüstet werden.

Diese auch als Phasenwechselmaterialien (PCM= Phase-Change Materials) bezeichneten Stoffe speichern die anfallende Wärme latent, also aufgrund des Übergangs vom festen in den flüssigen Aggregatzustand. Für den Einsatz in Gebäuden bestehen die PCM meist aus Paraffin oder einer Salzhydratlösung [Lenz]. Die baupraktische Umsetzung scheiterte in der Vergangenheit häufig daran, PCM kostengünstig und langlebig in den Baukörper einzubringen. Weiterentwicklungen führten beispielsweise zu einer Mikroverkapselung (Paraffin) des Speichermaterials, das auf diese Weise beispielsweise in Putz integriert werden kann. Die Winzigkeit der Kapseln und ihre homogene Verteilung über die Wand tragen dazu bei, dass keine Einschränkungen in der Nutzung der Wände (z.B. Nageln, Bohren) vorliegen. Bei der Sanierung wird kein zusätzlicher Arbeitsschritt zum Einbringen des Materials nötig, das Phasenwechselmaterial wird, ob als Pulver, Spachtelmasse oder Platte, wie jedes konventionelle Bauprodukt verarbeitet [Lenz].

PCM eignen sich demnach auch für die Sanierung von Gebäuden und tragen durch ihre hohe Speicherfähigkeit zum sommerlichen Wärmeschutz bei. Durch die Nachrüstung mit PCM können die Temperaturen in einem Gebäude passiv gesenkt und der thermische Komfort nachhaltig verbessert werden. Da die Wärme jedoch nur gespeichert und nicht abgeführt wird, muss die Voraussetzung bestehen, dass die niedrige Temperatur der Nachtluft zur Abfuhr der tagsüber gespeicherten Wärme genutzt werden kann.

6.4 Normen und Richtlinien

Im Folgenden werden für das Thema „Sommerlicher Wärmeschutz“ relevante Normen und Richtlinien tabellarisch abgebildet sowie ihr Inhalt stichpunktartig erläutert. Die Angabe der relevanten Normen und Richtlinien erfolgt ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

6.4.1 Sommerlicher Wärmeschutz

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN 4108-2 (EDIN 4108-2	Wärmeschutz und Energie - Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz	Festlegung von Mindestanforderungen an die Wärmedämmung von Bauteilen und im Bereich von Wärmebrücken in der Gebäudehülle. Festlegung von Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz.

6.4.2 Begrenzung des Energieeintrages

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN 18008-1-5	Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln - Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundlagen Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen Teil 3: Punktförmig gelagerte Verglasungen Teil 4: Zusatzanforderungen an absturzsichernde Verglasungen Teil 5: Zusatzanforderungen an begehbare Verglasungen	Bemessungs- und Konstruktionsregeln für Bauprodukte aus Glas. Behandlung der Themen Tragfähigkeit, Lagesicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Verglasungskonstruktionen unter planmäßigen Einwirkungen.
EN 13125	Abschlüsse - Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand - Zuordnung einer Luftdurchlässigkeitsklasse zu einem Produkt	Festlegung der Kriterien für die Zuordnung der Luftdurchlässigkeitsklassen für Abschlüsse, innere Abschlüsse und Markisen.
EN 13363-1-2	Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasung - Berechnung der Solarstrahlung des Lichttransmissionsgrades - Teil 1: Vereinfachtes Verfahren Teil 2: Detailliertes Berechnungsverfahren	Festlegung und Beschreibung des vereinfachten Verfahrens zur Bewertung des Gesamtdurchlassgrades einer Sonnenschutzvorrichtung in Kombination mit einer Verglasung. Verfahren gilt für alle Arten von Sonnenschutzvorrichtungen in Kombination mit Verglasung.
EN 13561	Markisen - Leistungs- und Sicherheitsanforderungen	Festlegung von Leistungsanforderungen für Markisen. Benennung signifikanter Gefährdungen für Konstruktion, Transport, Einbau, Bedienung und Wartung.
EN 13659	Abschlüsse außen und Außenjalousien - Leistungs- und Sicherheitsanforderungen	Festlegung von Leistungsanforderungen für außen befestigte Abschlüsse. Benennung signifikanter Gefährdungen für Konstruktion, Transport, Einbau, Betrieb und Wartung.

EN 14500	Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Prüf- und Berechnungsverfahren	Definition von Prüf- und Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Reflexions- und Transmissionskenngrößen. Bestimmung der Leistungsklassen von außen- und innenliegenden Abschlüssen hinsichtlich des thermischen und visuellen Komforts. Verfahren zur Bestimmung der Lichtdurchlässigkeitskenngrößen von innen und außen liegenden Verschattungsanlagen
EN 14501	Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Leistungsanforderungen und Klassifizierung	Charakterisierungsverfahren bezüglich der Leistungsanforderungen an Jalousien, Markisen und Abschlüsse. Festlegung von Parametern zur quantitativen Bestimmung der Eigenschaften für den thermischen und visuellen Komfort.
EN 410	Glas im Bauwesen - Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen	Beschreibung von Verfahren zur Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Gläsern
EN 673	Glas im Bauwesen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) - Berechnungsverfahren	Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Gläsern mit ebenen und parallelen Oberflächen.

6.4.3 Wärmeabfuhr

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
ASR A 3.6	Technische Regeln für Arbeitsstätten - Lüftung	Konkretisierung der Anforderungen der Verordnung über Arbeitsstätten an die Lüftung. Gültig für Arbeitsplätze in umschlossenen Arbeitsräumen zur Gewährleistung einer ausreichenden Luftqualität.
VdS 2333	Sicherungsrichtlinien für Geschäfte und Betriebe	Hinweise auf sicherungstechnische Anforderungen an ein Objekt. Darstellung von sechs unverbindlichen Risikoklassen für Gewerbeobjekte.

7 Anlagentechnische Maßnahmen

Neben den bautechnischen Sanierungsmaßnahmen existieren auch zahlreiche anlagentechnische Maßnahmen für die Sanierung von Nichtwohngebäuden. Allgemein sollte bei einer umfassenden Sanierung von sowohl baulichen als auch anlagentechnischen Komponenten beachtet werden, dass beide Bereiche auf einander abgestimmt werden, bzw. später geplante Sanierungsabschnitte bereits in der ersten Sanierungsphase berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für die Heizungstechnik, die immer eng mit dem bautechnischen Zustand eines Gebäudes verknüpft ist. Im Rahmen einer energetischen Gesamtmodernisierung ist es aus energetischen Gründen sinnvoll, zunächst die Gebäudehüllfläche wärmetechnisch zu ertüchtigen und im zweiten Schritt die Heizungsanlage zu erneuern, da sich durch den sinkenden Heizwärmebedarf eine abweichende Dimensionierung der Anlagentechnik ergibt. Nur bei einem abgestimmten System kann auch ein effizienter Betrieb erzielt werden.

Die nachfolgenden Abschnitte behandeln anlagentechnische Maßnahmen, die im Zusammenhang mit einer Fassadensanierung stehen können.

7.1 Fassadenlüftungssysteme

Während im Kapitel „Sommerlicher Wärmeschutz“ überwiegend auf die natürliche Lüftung von Gebäuden eingegangen wird, werden an dieser Stelle die Möglichkeiten zur Integration von Fassadenlüftungssystemen erläutert.

Zur Bereitstellung eines Luftaustausches, der unabhängig von den Witterungsverhältnissen und dem Nutzereingriff erfolgen soll, kann eine mechanische Lüftungsanlage zum Einsatz kommen. Voraussetzung ist eine ausreichend luftdichte Gebäudehülle, denn nur so lässt sich sicherstellen, dass der Luftaustausch zielgerichtet und energetisch effizient stattfindet. Nach EN 13779 [EN13779] sollte die Dichtheit eines Gebäudes der vorgesehenen Nutzung und Art der installierten Lüftungsanlage angepasst sein. Gebäude mit kombinierten Be- und Entlüftungsanlagen sollten mit einem n_{50}-Wert unter 1,0 h^{-1} bei Gebäuden, die mehr als drei Stockwerke besitzen, und unter 2,0 h^{-1} bei niedrigeren Gebäuden so dicht wie möglich sein. Die Energieeinsparverordnung nennt einen n_{50}-Wert unter 1,5 h^{-1} als Anforderung bei Anrechnung einer mechanischen Lüftungsanlage. Das Verfahren zur Messung der Gebäudedichtheit ist in EN ISO 9972 [ENISO9972] und EN 13829 [EN13829] festgelegt [EN13779].

Bei Lüftungsanlagen kann grob zwischen zwei Systemen unterschieden werden. Eine zentrale Lüftungsanlage versorgt das gesamte Gebäude bzw. die jeweiligen Abschnitte über ein zentrales Lüftungsgerät, welches über ein Kanalsystem die einzelnen Räume anbindet. Der nachträgliche Einbau eines zentralen Lüftungssystems kann aufgrund der Installation des notwendigen Kanalnetzes in das Gebäude eventuell umständlich und kostenintensiv, bzw. wegen Platzmangel nur schwer oder gar nicht umsetzbar sein. Während sich bei Neubauten bereits früh in der Planungsphase ein Luftverteilsystem für eine zentrale Lüftungsanlage berücksichtigen lässt, ist dies bei Bestandsgebäuden nur bedingt möglich. Im Gegensatz dazu bietet ein dezentrales Lüftungssystem die Möglichkeit, ohne große konstruktive Eingriffe im Gebäudeinneren auch Bestandsgebäude mit dieser Technik auszustatten [Lenz]. Aus diesem Grund eignen sich Fassadenlüftungsgeräte besonders für die Sanierung von Gebäuden und stellen häufig die einzige Möglichkeit dar, eine mechanische Be- und Entlüftung zu realisieren.

Dezentrale Lüftungsgeräte befinden sich überwiegend im Fassadenbereich oder weisen eine direkte lufttechnische Anbindung an die Fassade auf. Von einfachen, schallgedämmten Überströmöffnungen bis hin zu komplexen Zu- und Abluftsystemen mit Ventilatoren, Volumenstromreglern, Wärmerückgewinnung oder Luft-Wasser-Wärmeüberträgern existiert eine Vielzahl von Geräten und Systemen, die auch mit zentralen RLT-Anlagen kombiniert werden können [Trogisch].

Je nach Funktion gibt es die Ausführung als Zuluftgerät, Abluftgerät, kombiniertes Zu- und Abluftgerät sowie Umluftgerät. Darüber hinaus werden je nach Einbauort Brüstungs-, Unterflur-, Unterdecken und Wandgeräte unterschieden. Sie können in nahezu alle existierenden Fassadenbauweisen integriert werden.

Der Einbau dezentraler Lüftungssysteme ist beispielsweise in Einzelbüros, Patientenzimmern, Klassenräumen, kleineren Besprechungsräumen, Arztpraxen oder Hotelzimmern sinnvoll. Räume mit einem sehr hohen Außenluftbedarf wie beispielsweise Sportstätten oder große Besprechungsräume sind weniger geeignet, da eine maximale Raumtiefe von 6 m nicht überschritten werden sollte. Mit einem dezentralen System sind spezifische Kühllasten von 50 W/m² und ein 6-facher Luftwechsel problemlos zu realisieren, eine Vollklimatisierung ist jedoch nur schwer umzusetzen.

Bei der Auslegung der Lüftungsanlagen ist insbesondere auf die erforderliche Raumluftqualität zu achten. Diese wird nach EN 13779 in vier Klassen gegliedert (Tabelle 7). Der CO_2-Gehalt im Raum kann zur Auslegung eines bedarfsgeregelten Systems verwendet werden. Übliche Standardwerte sind in Tabelle 8 aufgeführt. Darüber hinaus kann die Raumluftqualität auch indirekt über den Außenvolumenstrom pro Person bestimmt werden (Tabelle 9).

Neben der vergleichsweise einfachen Nachrüstung im Sanierungsfall liegt ein weiterer Vorteil dezentraler Lüftungsgeräte in der Möglichkeit zur individuellen Regelung. Jeder Raum wird durch ein Einzelgerät mit konditionierter Außenluft versorgt. So können die Geräte auf die Erfordernisse des Einzelnen angepasst werden. Bei temporär ungenutzten Räumen beispielsweise kann die Abschaltung der Geräte erfolgen, was bei einem zentralen System häufig nicht möglich ist.

Tabelle 7: Allgemeine Klassifizierung der Raumluftqualität [EN13779].

Kategorie	Beschreibung
IDA 1	Hohe Raumluftqualität
IDA 2	Mittlere Raumluftqualität
IDA 3	Mäßige Raumluftqualität
IDA 4	Niedrige Raumluftqualität

Tabelle 8: CO_2-Gehalt über dem Gehalt in der Außenluft [EN13779].

Kategorie	CO_2-Gehalt über dem Gehalt in der Außenluft, in ppm	
	Üblicher Wert	Standardwert
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 - 600	500
IDA 3	600 - 1 000	800
IDA 4	> 1 000	1 200

Tabelle 9: Außenluftvolumenströme je Person [EN13779].

Kategorie	Einheit	Außenvolumenstrom je Person			
		Nichtraucherbereich		Raucherbereich	
		Üblicher Bereich	Standardwert	Üblicher Bereich	Standardwert
IDA 1	$l \cdot s^{-1} \cdot Person^{-1}$	> 15	20	> 30	40
IDA 2	$l \cdot s^{-1} \cdot Person^{-1}$	10 - 15	12,5	20 - 30	25
IDA 3	$l \cdot s^{-1} \cdot Person^{-1}$	6 - 10	8	12 - 20	16
IDA 4	$l \cdot s^{-1} \cdot Person^{-1}$	< 6	5	< 12	10

Dezentrale Lüftungsgeräte sollten wartungsfreundlich aufgebaut sein. Da in den Gebäuden in der Regel eine Vielzahl von Geräten eingebaut wird, sollte der Filterwechsel möglichst schnell und ohne Werkzeug durchführbar sein. Ebenso sollten die Wärmeüberträger und deren Kondenswasserwannen leicht zugänglich sein, um die Reinigung zu erleichtern [Sefker].

Ob eine Wärmerückgewinnung (WRG) sinnvoll ist oder nicht, kann nicht pauschal beantwortet werden, sondern muss für den jeweiligen Anwendungsfall überprüft werden. Dabei sind die durch das WRG-System bedingten zusätzlichen Investitionskosten, die erhöhte Leistungsaufnahme der Ventilatorantriebe sowie die damit verbundenen erhöhten Geräuschentwicklungen zu berücksichtigen [Trogisch].

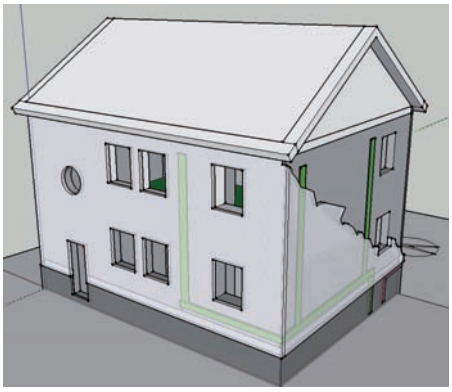


Bild 19: Lüftungssystem.

Bezüglich der fassadenintegrierten Lüftung werden stetig technische Fortschritte gemacht. Im Folgenden werden beispielhaft zwei neue Systeme beschrieben.

7.1.1 Lüftungsgeräte mit PCM-Einsatz

Eine effektive Wärmeabfuhr kann durch dezentrale Lüftungssysteme mit integriertem Latentwärmespeicher (en: phase change material, PCM) erzielt werden. Mit dieser Technik wird es möglich, die natürlichen Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht zu nutzen und thermische Lasten ohne einen maschinellen Kälteerzeuger abzuführen. Übersteigt die Zulufttemperatur im Tagesverlauf die Schmelztemperatur des PCM, wird aufgrund des Phasenübergangs der Zuluft Wärme entzogen. Die gekühlte Zuluft wird in den Raum eingebracht. Die Regeneration des Speichermaterials findet in der Nacht statt, in der die kühle Nachtluft durch den PCM-Wärmetauscher strömt und die gespeicherte latente Wärme aufnimmt.

Weiterhin ist die Wärmeabfuhr aus dem Innenraum mit einer Kombination aus Kapillarrohrmatten und Fassadenlüftungssystem mit PCM-Speicher möglich. Das Kapillarrohrmattensystem lässt sich im Falle einer umfassenden Sanierung, beispielsweise auf einer leichten Deckenkonstruktion, nachträglich integrieren. Die im Innenraum anfallende Wärme wird von der Decke aufgenommen, über das Kapillarrohrsystem abtransportiert und an das Fassadenlüftungssystem abgegeben. Hier wird diese nicht direkt an den Außenbereich abgegeben, sondern innerhalb des Fassadenlüftungssystems durch das PCM gespeichert. Auf diese Weise kühlt sich das wärmetransportierende Wasser innerhalb der Kapillarrohrmatten ab. Die innerhalb des PCM gespeicherte Wärme muss innerhalb der Nachtstunden abgeführt werden. Über einen zweiten Wasserkreislauf, der den Wärmespeicher mit dem fassadenintegrierten Wärmeüberträger verbindet, kann die Wärme an die kalte Nachtluft abgeführt werden [Lenz].

7.1.2 Lüftungsgeräte mit integrierter Wärmepumpe

Durch die integrierte Wärmepumpe kann die Raumluft im Winter aktiv erwärmt werden. Dabei stellt die Abluft die Wärmequelle für den Betrieb dieser dar. Über einen Wärmetauscher wird der Abluft ein Teil der enthaltenen Energie entzogen und über den Kältemittelkreislauf der Wärmepumpe auf ein höheres Energieniveau gebracht. Diese kann entweder an die Zuluft abgegeben oder auch zur Trinkwassererwärmung genutzt werden. Im Sommer hingegen kann die Wärmepumpe die Zuluft auch bei hohen Außentemperaturen kühlen, indem die eintretende Außenluft mittels der Umkehrung des Kältemittelkreislaufes gekühlt wird.

7.1.3 Fassadendämmung mit integrierter Luftführung

Im Bereich von Lüftungsanlagentechnik existieren neue Ansätze zur Integration einer Luftführung in Fassadendämmsysteme. Ein System, welches sich derzeit in der Erprobung befindet, ist das Lüftungssystem „FreshAirWall“, das vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP gemeinsam mit dem Kooperationspartner Schwenk Dämmtechnik entwickelt wurde.

Das System besteht aus einer Kombination von Gebäudedämmung und Gebäudelüftung (Bild 19). Das Einbringen der Lüftungskanäle in die Wärmedämmverbundplatten erfolgt bereits im Werk, sodass der Montageaufwand vor Ort nur geringfügig über dem eines üblichen Wärmedämmsystems liegt. Kernbohrungen durch die Gebäudewand von innen ermöglichen die Anbindung der Lüftungsanlage an die Räume. Für den Einsatz in der Altbausanierung sprechen neben baulichen Gegebenheiten und der Minimierung von Schmutz und Lärm, die enormen Kostenvorteile, die durch die nicht benötigten Rohrleitungen sowie die Vorfertigung entstehen.

Die intensive Testphase des neuartigen Dämmsystems läuft derzeit an einem zweigeschossigen Wohnhaus aus den 1920er Jahren in Kassel. Neben der Untersuchung und Bewertung des Sanierungsprozesses wird das Sanierungssystem im Rahmen von detaillierten Simulationsstudien sowohl thermisch als auch hydraulisch hinsichtlich der Energieeffizienz optimiert. Die Entwicklung und Validierung von thermisch-dynamischen Modellen für die Dämmelemente sowie die Kanalführung sind hierbei Voraussetzung für die Erarbeitung von Auslegungsempfehlungen und Planungstools. Neben diesen Fragestellungen werden im Projekt akustische und hygienische Aspekte sowie die Sicherstellung der Brandschutzanforderungen betrachtet.

7.2 Aktive Energiegewinnung über die Fassade

Neben den ursprünglichen Funktionen der Fassade, dem Schutz vor Witterungseinflüssen und der Reduzierung von Energieverlusten, kann eine moderne Fassade auch aktiv für die Energiegewinnung genutzt werden. Solche Fassaden werden häufig als „Energiefassaden“ bezeichnet.

In erster Linie wird dabei die Solarenergie genutzt, in Form von Stromgewinnung (Photovoltaik) oder der Erwärmung flüssiger Medien (Solarthermie). Besonders im Nichtwohngebäudebereich spielt die Deckung des Strombedarfs, unter anderem aufgrund von Beleuchtung, Kühlung und Lüftung, neben dem Wärmebedarf eine wesentliche Rolle. Darüber hinaus stellen fassadenintegrierte Kollektoren und Module eine sinnvolle Alternative dar, wenn beispielsweise keine ausreichende Dachfläche zur Verfügung steht oder diese nicht optimal ausgerichtet ist.

Im Bauwesen wird bezüglich der direkten Solarenergienutzung zwischen passiver und aktiver Nutzung unterschieden. Unter der passiven Solarnutzung wird der Einsatz gezielter baulicher Maßnahmen zum Sammeln, Speichern sowie zur Verteilung der eingestrahlten Sonnenenergie verstanden. Einflussfaktoren für die Planung der passiven Solarnutzung sind beispielsweise Fenstergrößen und -anordnungen, transparente bzw. transluzente Dämmungen, thermische Speichermassen oder lichtlenkende Systeme. Aktive Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass die gewonnene Energie mit Hilfsmitteln „aktiv“ in das Gebäude transportiert wird. Für die aktive Solarenergienutzung stehen zwei Techniken zur Verfügung: die Solarthermie, bei der über Kollektoren Wärme gewonnen wird, und die Photovoltaik, durch die das Sonnenlicht in Strom umgewandelt wird.

Neben der Montage eines solartechnischen Systems auf dem Dach eines Gebäudes besteht die Möglichkeit zur Integration in die Fassade, die durch eine solche Maßnahme eine aktive Rolle in der Energieversorgung des Gebäudes übernimmt. Fassaden von Nichtwohngebäuden besitzen häufig ein beachtliches Potenzial an geeigneten Flächen zur Integration von solartechnischen Systemen.

Diese vertikalen Flächen sind allerdings nicht ideal ausgerichtet, sodass bei der Integration eines solartechnischen Systems in die Fassade mit Ertragseinbußen zu rechnen ist, dieser Nachteil wird jedoch durch die Übernahme des Systems mit zusätzlichen Fassadenfunktionen teilweise ausgeglichen. Durch fassadenintegrierte Solaranlagen können nahezu alle Funktionen einer konventionellen Fassade (z.B. Witterungsschutz, Sonnenschutz, Schallschutz, Wärmedämmung) übernommen werden.

Des Weiteren kann eine „Solarfassade“ im Gegensatz zu den häufig auf dem Dach befindlichen, nicht sichtbaren Solarsystemen zum Imagegewinn des Gebäudes bzw. Eigentümers beitragen und es prägen.

Als „visuelle Mittler“ übernehmen Fassaden nämlich besonders im Nichtwohngebäudebereich eine besondere Funktion, weshalb das in diesem Bereich installierte solartechnische System im Gegensatz zur Dachmontage zum unmittelbar wirksamen Gestaltungselement avanciert. Die Einbindung solartechnischer Systeme in die Fassade erfordert eine genaue Betrachtung und Berücksichtigung typologischer Fassadenmerkmale um potentielle Anordnungsmöglichkeiten schrittweise einzugrenzen. Die Einbindung einer Solaranlage in die Fassade ist grundsätzlich auf vielfältige Weise umsetzbar, jedoch sind die Optionen bei der Neubauplanung sehr viel größer, als es im Gebäudebestand der Fall ist. Die Brüstungsbereiche von Bandfassaden stellen beispielsweise geeignete Montageflächen dar, bei Lochfassaden könnten die Systeme durch verschiedene Gruppierungen um die Fassadenöffnungen integriert werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Kollektoren oder Module als Sonnenschutz- bzw. Verschattungselemente einzusetzen (Bild 20). Da ein Sonnenschutz meist ideal zur Sonne ausgerichtet ist, können maximale Solarerträge erzielt werden.

Bild 20: PV-Anordnung als Sonnenschutz (SMA, Niestetal). [SMA]

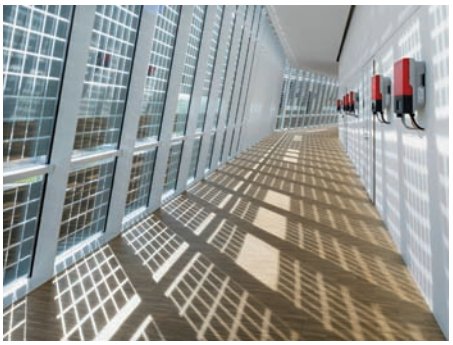


Bild 21: Glas mit photovoltaischer Zusatzfunktion (SMA, Niestetal) [SMA].

Wichtiger Einflussfaktor auf den Ertrag einer solartechnischen Anlage ist die mögliche Verschattung der Flächen. Je nach Art der Anlage (Solarthermie oder Photovoltaik) ergeben sich unter Umständen Eintragseinbußen. Die Gefahr der Abschattung ist generell bei fassadenintegrierten Systemen größer, als bei auf dem Dach befindlichen. Sie besteht aufgrund von umliegender Bebauung und Bepflanzung, die eventuell auch erst zu einem späteren Zeitpunkt entstehen können. Eine weitere Ursache liegt in der Selbstverschattung, die durch die Gebäudegeometrie verursacht wird. Eine verschattungsfreie, optimal ausgerichtete Fläche ist daher eine wesentliche Voraussetzung für den maximalen Ertrag der Anlage. Für die Planung ist dementsprechend im Vorfeld eine Standort- und Gebäudeanalyse erforderlich.

7.2.1 Photovoltaik

Durch Photovoltaikanlagen lässt sich Strom ohne mechanischen Verschleiß, Luftemissionen oder Geräuschentwicklung erzeugen. Grundsätzlich ist die Technologie unabhängig vom Baubereich und wird daher neben der Installation an Gebäuden auch in großen Kraftwerken zur Stromerzeugung eingesetzt.

Im Gegensatz zur Solarthermie existieren bei der Photovoltaik bereits einige Möglichkeiten im Hinblick auf Farbgestaltung, Format und Struktur. Die Anlagen sind also nicht nur Bestandteil der Haustechnik, sondern bieten auch gestalterisch eine große Variationsvielfalt. Neben der Möglichkeit der Anordnung von Photovoltaik auf und in opaken Bauteilen können auch PV-Module, die eine hohe Transparenz aufweisen, problemlos in die transparente Gebäudehülle integriert werden. So können beispielsweise Schrägverglasungen oder Fensterflächen mit photovoltaischen Zusatzfunktionen versehen werden (Bild 21).

Grundsätzlich ist der Einbau von PV-Modulen sowohl in Warm- als auch in Kaltfassaden möglich. Da mit ansteigender Temperatur der Module jedoch der Wirkungsgrad abnimmt, sind Konstruktionen mit einer Hinterlüftung sinnvoll. Neben gerahmten Standardkomponenten existieren heute auch rahmenlose PV-Module für den Einbau in Pfosten-Riegel- und Elementfassaden. Da sie die optischen und funktionalen Eigenschaften von Glas aufweisen, können sie einfach in Tragkonstruktionen installiert werden. Auf diese Weise können herkömmliche Fassadenelemente wie Paneele, oder Gläser durch PV-Module ersetzt werden.

7.2.2 Solarthermie

Thermische Solaranlagen wandeln Sonneneinstrahlung mit Hilfe von Solarkollektoren in Wärme um und machen diese so für die Wärmebereitstellung im Gebäude nutzbar.

Bild 22: Fassadengestaltung solarthermisches System vorher [Lamparter].

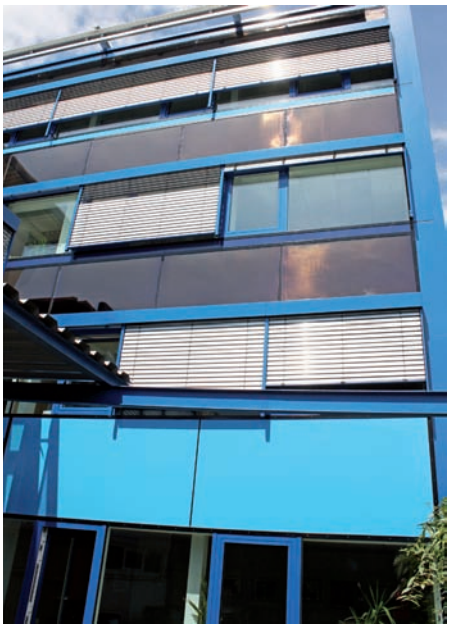


Bild 23: Fassadengestaltung solarthermisches System nachher [Lamparter].

Diese kann zur Warmwasserbereitstellung oder zur Heizungsunterstützung (sinnvoll bei Fußbodenheizung) genutzt werden, darüber hinaus besteht die Möglichkeit, thermisch betriebene Kältemaschinen (Absorptionskältemaschinen) anzutreiben.

Je nach Nutzungsart kann können unterschiedliche Anlagenkonfigurationen eingesetzt werden. Bei konventionellen Kollektoren wird zwischen Solarabsorbern, Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren unterschieden.

Die Arbeitstemperatur für die Warmwasserbereitung liegt in etwa zwischen 20 und 60 °C. Übliche Flachkollektoren erzielen in diesem Bereich in der Regel gute Wirkungsgrade. Da über das Jahr verteilt der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung nahezu konstant ausfällt, kann insbesondere im Sommer das hohe Strahlungsangebot gut genutzt werden. Im Jahresmittel können mit Nutzung einer solarthermischen Anlage 50-60 % des Warmwasserbedarfs über die Solaranlage gedeckt werden. Bei richtig dimensionierten und ausgelegten Anlagen lassen sich Nutzenergiegewinne zwischen 250 und 350 kWh/a erzielen.

Bei der Nutzung der Wärme für die Raumheizung besteht in Deutschland zwischen Strahlungsangebot und Raumwärmebedarf jedoch eine deutliche Diskrepanz. Während in der Kernzeit der Heizperiode, nämlich von November bis Februar, etwa 60 % des jährlichen Raumwärmebedarfs anfallen, beträgt das eingestrahlte Energieangebot im gleichen Zeitraum auf einer nach Süden orientierten Fläche nur 12-15 %. Somit bestehen gegenüber der Warmwasserbereitung höhere Anforderungen an die Nutzungsmöglichkeiten solarer Raumheizungen. Die Arbeitstemperatur liegt je nach Art der Wärmeabgabe zwischen 30 und 90 °C [Schittich].

In Deutschland können energieoptimierte Gebäude häufig ohne eine aktive Kühlung auskommen. Lassen sich jedoch die Kühllasten nicht ausreichend durch passive Maßnahmen reduzieren, kann die gewonnene Wärme von Solarkollektoren für den Antrieb von Kältemaschinen genutzt werden. Neben den klassischen elektrisch betrieben Kältemaschinen können für die Bereitstellung von Raumkälte auch Technologien eingesetzt werden, die Wärme als Antriebsenergie nutzen. Besteht ein wesentlicher Teil der Kühllast aus solaren Lasten, treten Sonneneinstrahlung und Kühlbedarf zeitgleich auf, was optimale Voraussetzungen für eine solarthermische Klimatisierung bietet. Wird die Antriebswärme überwiegend von solarthermischen Systemen erzeugt, wird von einer Solarkühlung gesprochen [Baunetz4].

Solarthermische Systeme, insbesondere solche zur Trinkwassererwärmung, konnten sich in den letzten Jahren deutlich am Markt etablieren. Auch der Nichtwohnungsbau beginnt jetzt, vor dem Hintergrund der Anforderungen des Erneuerbaren Energien Wärmegesetzes (EEWärmeG) und nicht zuletzt aufgrund des mit der Nutzung erneuerbarer Energien verbundenen positiven Images, sich für thermische Solaranlagen zu interessieren. Auch solarthermische Systeme lassen sich in die Fassade integrieren, jedoch stehen derzeit kaum standardisierte Montagesysteme zur Verfügung. Bei massiven Wandaufbauten ist in den meisten Fällen nur eine additive Anordnung auf oder vor der wasserführenden Schicht möglich (Bild 22). Bei einer gleichzeitigen Fassadendämmung des Gebäudes von außen könnten die Module direkt auf der Außenwand montiert werden, sodass ihr Gesamtaufbau in die Dämmschicht eingebunden werden kann und somit bündig mit der Außenhaut abschließt. Insbesondere für Pfosten-Riegel-Systeme werden mittlerweile von verschiedenen Herstellern Komplettsysteme angeboten, bei denen Flachkollektoren ein weiteres Bauteil neben Fenstern und opaken Elementen darstellen [Schittich]. Eine Integration von Vakuum-Röhrenkollektoren ist, obwohl ihre Struktur große Potenziale für die Fassadengestaltung besitzt, als problematischer und kostenaufwändiger zu betrachten; derzeit existieren kaum geeignete Systeme.

7.3 Integration dezentraler Systeme in das technische Gebäudemanagement

In Gebäuden mit komplexen technischen Anlagen, die überwiegend im Nichtwohngebäudebereich vorzufinden sind, ist die Gebäudeautomation (GA) das wesentliche

Werkzeug für das technische Gebäudemanagement (TGM). Diese spielt für die Wirtschaftlichkeit sowie die Ressourcen- und Umweltschonung eines Gebäudebetriebs eine bedeutsame Rolle und nimmt mit steigenden technischen Anforderungen eine immer entscheidendere Bedeutung ein. Weiterhin kann nur mit einer geeigneten Steuerung auf die gestiegenen Anforderungen an den Komfort im Gebäude reagiert werden. Als Gebäudeautomation werden alle Einrichtungen und Dienstleistungen für die automatische Steuerung und Regelung bezeichnet. Die Systeme ermöglichen eine Regelung, Überwachung und Optimierung sowie das Management der Gebäudeausrüstung, wodurch diese energieeffizient, wirtschaftlich und sicher bedient werden kann [EN15232]. Nicht unerhebliche Aufwendungen für Installation, Inbetriebnahme und Wartung des Systems sind dabei allerdings auch zu berücksichtigen.

Die Software, mit der die Gebäude überwacht und gesteuert werden, wird in der Regel als Gebäudeleittechnik bezeichnet. Sie dient der Visualisierung der technischen Vorgänge innerhalb eines Gebäudes und als Nutzerschnittstelle zur Gebäudeautomationstechnik. Sie ist somit ein wichtiger Bestandteil des technischen Gebäudemanagements. Ziel ist es, Funktionsabläufe automatisch, nach vorgegebenen Parametern durchzuführen oder deren Bedienung bzw. Überwachung zu vereinfachen. Außerdem liefern diese Systeme Daten zur Wartung von Anlagen und Gebäuden. Ferner können durch kontinuierliche Messungen und eine entsprechende Aufzeichnung der Messwerte Fehlfunktion beim Anlagenbetrieb erkannt und Tendenzen beim Energieverbrauch vorausgesagt werden.

Meist wird die Gebäudeleittechnik für die Steuerung der Bereiche Beleuchtung, Heizung, Lüftung und Klimatisierung eingesetzt, um eine höhere Effizienz der Technik und eine Steigerung des Komforts zu erzielen. So ist etwa die Wirksamkeit eines Sonnenschutzsystems hauptsächlich davon abhängig, ob er zu den entscheidenden Zeiten betätigt wird. Da dies manuell kaum in vollem Maße erfüllt werden kann, ist es am effizientesten, den Betrieb strahlungs- oder temperaturabhängig zu steuern. Auch andere technische Systeme (z.B. Lüftungsanlage, Lichtsteuerung, Schließsysteme, automatische Beschläge) können durch die Gebäudeleittechnik gesteuert und somit in ihrer Effizienz optimiert werden.

Die Auswirkungen von Gebäudeautomationssystemen und des Gebäudemanagements auf die Energieeffizienz eines Gebäudes lassen sich nach EN 15232 entweder mittels eines ausführlichen Verfahrens oder mit einem GA-Faktor-Verfahren ermitteln. Das GA-Faktor-Verfahren ermöglicht es, auf einfache Weise die Auswirkungen der Funktionen des Gebäudeautomationssystems und des technischen Gebäudemanagements eines Gebäudes zu bewerten, indem GA-Effizienzfaktoren angewendet werden.

Je nach Stufe der Effizienzgenauigkeit und -qualität kann das Gebäude bestimmten GA-Effizienzklassen (A-D) zugeordnet werden. Die GA-Faktoren wurden für unterschiedlichen Gebäudetypen durch die Ausführung dynamischer Vorberechnungen nach EN 15217 [EN15217] ermittelt [EN15232].

Beispielhaft abgebildet sind die Tabellen 5 und 7 der EN 15232 „GA-Effizienz-Gesamtfaktoren für Nichtwohngebäude“ (Tabelle 10 und Tabelle 11). Diese sind in Abhängigkeit vom Gebäudetyp und der Effizienzklasse klassifiziert, zu der das GA-/TGM-System gehört. Die Faktoren für die Effizienzklasse C (thermisch und elektrisch) sind mit 1 festgelegt, da diese Klasse üblicherweise die Standardfunktionalität und somit die Bezugsgröße eines GA- und TGM-Systems darstellt. Die Anwendung der Effizienzklassen B oder A führt stets zu niedrigeren GA-Effizienzfaktoren, d.h. zu einer Verbesserung der Energieeffizienz des Gebäudes. Werden beispielsweise anstelle der Klasse C GA-Systeme der Klasse A eingesetzt, lassen sich Einsparungen an thermischer Energie zwischen 14 % (Krankenhäuser) und 50 % Hörsäle erzielen [EN15232].

Tabelle 10: Effizienz-Gesamtfaktoren für Nichtwohngebäude für die thermische Energie [EN15232].

Gebäude vom Typ Nichtwohngebäude	GA-Effizienzfaktoren, $f_{BACS,th}$			
	D	C Referenz	B	A
	Nicht energieeffizient	Standard	Erhöht	Hohe Energieeffizienz
Büros	1,51	1	0,80	0,70
Hörsäle	1,24	1	0,75	0,5a
Bildungseinrichtungen (Schulen)	1,20	1	0,88	0,80
Krankenhäuser	1,31	1	0,91	0,86
Hotels	1,31	1	0,85	0,68
Restaurants	1,23	1	0,77	0,68
Gebäude für Groß- und Einzelhandel	1,56	1	0,73	0,6[a]
weitere Typen: - Sporteinrichtungen -Lager -Industrieeinrichtungen -usw.		1		

[a] Diese Werte hängen stark vom Heizwärme-/ Kühlbedarf für die Lüftung ab.

Tabelle 11: Effizienz-Gesamtfaktoren für Nichtwohngebäude für die elektrische Energie [EN15232].

Gebäude vom Typ Nichtwohngebäude	GA-Effizienzfaktoren, $f_{BACS,th}$			
	D	C Referenz	B	A
	Nicht energieeffizient	Standard	Erhöht	Hohe Energieeffizienz
Büros	1,10	1	0,93	0,87
Hörsäle	1,06	1	0,94	0,89
Bildungseinrichtungen (Schulen)	1,07	1	0,93	0,86
Krankenhäuser	1,05	1	0,98	0,96
Hotels	1,07	1	0,95	0,90
Restaurants	1,04	1	0,96	0,92
Gebäude für Groß- und Einzelhandel	1,08	1	0,95	0,91
weitere Typen: - Sporteinrichtungen -Lager -Industrieeinrichtungen -usw.		1		

7.4 Normen und Richtlinien

Im Folgenden werden für das Thema „Anlagentechnische Maßnahmen“ relevante Normen und Richtlinien tabellarisch abgebildet sowie ihr Inhalt stichpunktartig erläutert. Die Angabe der relevanten Normen und Richtlinien erfolgt ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

7.4.1 Lüftungssysteme

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN SPEC 13779	Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme - Nationaler Anhang zu DIN EN 13779:2007-09	Nationale Festlegungen zur Planung und Ausführung von Lüftungs- und Klimaanlagen in Nichtwohngebäuden. Nationaler Anhang gilt nur in Verbindung mit DIN EN 13779:2007-09.
EN 13779	Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlungssysteme	Planung von Lüftungs- und Klimaanlagen zum Erreichen und Aufrechterhalten einer guten Energieeffizienz ohne negative Auswirkungen auf die Qualität des Innenraumklimas.
EN 13829	Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren	Festlegung der Anwendung mechanischer Über- oder Unterdruckbeaufschlagung von Gebäuden und Bauteilen. Messtechniken zur Ermittlung von Luftvolumenströmen bei gegebenen statischen Druckdifferenzen zwischen innen und außen.
EN 15239	Lüftung von Gebäuden - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen	Überprüfung der Funktionsfähigkeit einer Lüftungsanlage und Bewertung der Auswirkung auf den Energieverbrauch. Empfehlungen zu möglichen Anlagenverbesserungen.

7.4.2 Aktive Energiegewinnung

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN V 18599-9	Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen	Verfahren zur Berechnung des Endenergieaufwands u.a. für Photovoltaik-Systeme
EN 12977-1-5	Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile- Kundenspezifisch gefertigte Anlagen Teil 1: Allgemeine Anforderungen an Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und solare Kombianlagen Teil 2: Prüfverfahren für solar betriebene Warmwasserbereiter und Kombinationssysteme Teil 3: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen Teil 4: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung (Kombispeicher) Teil 5: Prüfverfahren für die Regeleinrichtungen	Festlegung von Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit von kleinen und großen kundenspezifisch gefertigten thermischen Solaranlagen für Heizung und Kühlung.
EN 61173	Überspannungsschutz für photovoltaische (PV) Stromerzeugungssysteme - Leitfaden	Hinweise für den Überspannungsschutz für photovoltaische (PV) Stromerzeugungssysteme.

7.4.3 Integration dezentraler Systeme in das technische Gebäudemanagement

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN V 18599-11	Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung -Teil 11: Gebäudeautomation	Darstellung des Einflusses der Steuerung und Regelung sowie der Raum- und Gebäudeautomation einschließlich des technischen (energetischen) Gebäudemanagements auf den Energiebedarf eines Gebäudes im Betrieb.
EN 15217	Energieeffizienz von Gebäuden - Verfahren zur Darstellung der Energieeffizienz und zur Erstellung des Gebäudeenergieausweises	Gesamtkennwerte zur Darstellung der Energieeffizienz von Gebäuden, einschließlich Heiz-, Lüftungs-, Luftkonditionierungs-, Kühlungs-, Trinkwarmwasser- und Beleuchtungssystemen. Dies umfasst verschiedene mögliche Kennwerte. Möglichkeiten zur Darstellung der energiebezogenen Anforderungen an die Planung neuer oder für die Renovierung bestehender Gebäude. Verfahren zur Festlegung von Bezugswerten. Möglichkeiten zur Entwicklung eines Verfahrens für die Erstellung des Gebäudeenergieausweises.

EN 15232	Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement	Strukturierte Liste von Funktionen der Gebäudeautomation und des technischen Gebäudemanagements, die Auswirkungen auf die Energieeffizienz von Gebäuden besitzen. Verfahren zur Definition der Mindestanforderungen hinsichtlich der GA und TGM Funktionen, die in Gebäuden unterschiedlicher Komplexität umzusetzen sind. Faktorbasiertes Verfahren für eine erste Abschätzung der Auswirkung dieser Funktionen auf typische Gebäude. Ausführliche Verfahren zur Bewertung der Auswirkungen dieser Funktionen auf ein gegebenes Gebäude.
EN ISO 16484-1-5	Systeme der Gebäudeautomation (GA) Teil 1: Projektplanung und -ausführung Teil 2: Hardware Teil 3: Funktionen Teil 5: Datenkommunikationsprotokoll	Festlegung der Grundsätze der Projektplanung und -ausführung und der Integration anderer Systeme in die GA Systeme. Festlegung von Anforderungen an Geräte und Systeme für die Gebäudeautomation für Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlagen. Festlegung von Anforderungen an die Gesamtfunktionalität und an die technische Bearbeitung von Systemen der Gebäudeautomation. Definition der Kommunikationsdienste und -protokolle für computer-basierte Geräte, die zum Bedienen und Beobachten, Steuern und Regeln von Heizungs-, Lüftungs-, Klimatisierungs- und Kühlsystemen sowie Systemen anderer Gewerke eingesetzt werden.
VDI 3814 Blatt 1-7	Gebäudeautomation (GA) - Blatt 1: Systemgrundlagen Blatt 2: Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln Blatt 3: Hinweise für das Gebäudemanagement - Planung, Betrieb und Instandhaltung Blatt 5: Hinweise zur Systemintegration Blatt 6: Grafische Darstellung von Steuerungsaufgaben Blatt 7: Gestaltung von Benutzeroberflächen	Richtlinie gilt für Einrichtungen, Software und Dienstleistungen zur automatischen Steuerung, Regelung, Überwachung, Optimierung und Bedienung sowie für das Management zum energieeffizienten und sicheren Betrieb der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA). Da die internationale Norm DIN EN ISO 16484 nicht alle regionalen Erfordernisse beinhaltet, übernimmt VDI 3814 die Aufgabe, die in Mitteleuropa üblichen Anforderungen an GA-Systeme, welche über die oben genannte Norm hinausgehen, festzulegen.

8 Weitere Anforderungen

Neben der Gewährleistung des sommerlichen und des winterlichen Wärmeschutzes gelten weitere Anforderungen, die bei einer Sanierung Berücksichtigung finden sollten und aus diesem Grund auch auf den einzelnen Maßnahmenblättern für das jeweilige Sanierungsprinzip aufgeführt werden.

8.1 Feuchteschutz

Der Feuchteschutz beinhaltet die Gesamtheit aller konstruktiven Maßnahmen zum Schutz eines Gebäudes gegen Feuchtigkeit. Anforderungen, Nachweise und Empfehlungen, die den Feuchteschutz von Bauteilen betreffen, sind in DIN 4108-3 [DIN4108-3] formuliert. Die Norm aus dem Jahr 2001 wird derzeit überarbeitet. Aktuell ist eine Entwurfsfassung der DIN 4108-3 [EDIN4108-3] zur Stellungnahme veröffentlicht. Sie gilt nicht für Bauwerksabdichtungen, diese Thematik wird in DIN 18195 [DIN18195] behandelt.

Eine Fassade ist unterschiedlichen Arten von Feuchtebeanspruchungen ausgesetzt [EDIN4108-3]:

- Tauwasserbildung im Inneren der Fassade
- Tauwasserbildung an der raumseitigen Fassadenoberfläche
- Schlagregenbeanspruchung
- Spritzwasserbeanspruchung
- Bodenfeuchte

Besonders bei Innendämmmaßnahmen ist auf die Gewährleistung eines ausreichenden Feuchtschutzes zu achten, denn durch die aufgebrachte Dämmung kühlt sich die Wand in den Wintermonaten so weit ab, dass unter Umständen die Taupunkttemperatur innerhalb der Konstruktion unterschritten wird. Folglich besteht die Gefahr, dass der aufgrund von Diffusion durch die Konstruktion transportierte Wasserdampf als Tauwasser ausfällt. Aus diesem Grund sollte bei den meisten Innendämmmaßnahmen raumseitig eine Dampfbremse angeordnet werden, die den Feuchteeintrag über Wasserdampfdiffusion auf einen unkritischen Wert reduzieren. Auf eine Dampfbremse kann verzichtet werden, wenn ein ausreichend dampfdichtes bzw. -hemmendes Dämmmaterial eingesetzt wird oder aufgrund der Nutzung des Gebäudes keine kritischen Feuchtebelastungen zu erwarten sind.

Tauwasserausfall an der raumseitigen Oberfläche des Bauteils tritt in der Regel dann auf, wenn ein sehr schlechter Wärmeschutz oder starke Wärmebrückenwirkungen vorhanden sind. Um das Risiko von Tauwasserausfall und Schimmelbildung zu verringern, sind die in DIN 4108-2 aufgeführten Anforderungen einzuhalten. Durch eine Dämmmaßnahme von außen lässt sich sowohl der Wärmeschutz des Bauteils verbessern als auch Wärmebrückeneffekte minimieren, wodurch die Gefahr der Schimmelpilzbildung reduziert wird.

Des Weiteren ist die Fassade eines Gebäudes Feuchtigkeitsbelastungen infolge von Regen ausgesetzt, der durch die kapillare Saugwirkung über Risse, Spalten oder fehlerhafte Abdichtungen in das Bauteil eindringen kann. Der Schlagregenschutz wird durch konstruktive Maßnahmen (z.B. Putz, Außenwandbekleidung, Verblendmauerwerk) gewährleistet. Bei einer Sanierungsmaßnahme ist auf eine fachgerechte Planung und Ausführung zu achten. Die zu treffenden Maßnahmen richten sich gemäß DIN 4108-3 nach der Intensität der Schlagregenbeanspruchung, die durch Wind und Niederschlag sowie durch die örtliche Lage und die Gebäudeart bestimmt wird. Besonders bei einer Innendämmmaßnahme sollte der Feuchteeintrag der Wand von außen reduziert werden.

Für den Sockelbereich einer Außenwand gelten bezüglich der Feuchtebelastung erhöhte Anforderungen. Die Bauwerksabdichtung der Kellerwand oder der Bodenplatte muss gemäß DIN 18195 30 cm über die Geländeoberkante geführt werden. Im Erdreich selbst dürfen ebenfalls nur spezielle Dämmstoffe (Perimeterdämmungen) verwendet werden.

8.2 Luftdichtheit

Eine ausreichende Luftdichtheit ist die Grundlage einer erfolgreichen energetischen Gebäudesanierung. Eine luftdichte Gebäudehülle verringert die Lüftungswärmeverluste des Gebäudes, ist Voraussetzung für die richtige Funktion von Lüftungsanlagen, erhöht die Behaglichkeit in Innenräumen durch die Reduzierung von Zugerscheinungen, reduziert Schäden durch Tauwasserausfall in Bauteilen und fördert zudem einen guten Schallschutz.

Zur Gewährleistung der Luftdichtheit der Fassade sorgen in der Regel raumseitig liegende Schichten im Wandaufbau, die fachgerecht auszuführen sind. Beispielsweise können diese aus Putzen, Gipskartonplatten oder Bahnen aus Kunststoff oder Pappen bestehen, die an den Anschlusspunkten mit speziellem Klebeband luftdicht zu verbinden sind. Die Luftdichtheitsschicht wird in der Regel in Funktionseinheit mit einer ggf. vorhandenen diffusionshemmenden Schicht (Dampfbremse oder -sperre) ausgeführt [Flib].

Im Idealfall sollte die Luftdichtheitsschicht, ähnlich wie eine Dämmschicht, in den Anschlussbereichen möglichst ohne Unterbrechung durchgeführt werden. Eine durchgehende, luftdichte Schicht im Gebäudebestand nachträglich herzustellen gestaltet sich als schwierig, allerdings lassen sich bei entsprechenden Maßnahmen auch hier ausreichende Luftdichtigkeitswerte erreichen.

In der DIN 4108-7 [DIN4108-7] sind die Anforderungen an die Luftdichtheit von Gebäuden sowie Planungs- und Ausführungsempfehlungen für Bauteile und Anschlüsse formuliert. Eine im Sinne der Luftdichtheit vollständig sanierte Gebäudehülle, sollte bei einer Druckdifferenz von 50 Pa zwischen Gebäude und Umgebung nach DIN 4108-7 eine Luftwechselrate

- bei Gebäuden ohne raumlufttechnische Anlagen von 3,0 h^{-1} und
- bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen von 1,5 h^{-1}

nicht überschreiten.

Bei Gebäuden oder Gebäudeteilen mit einem Innenvolumen von mehr als 1 500 m^3 wird zur Beurteilung der Gebäudehülle zusätzlich die Luftdurchlässigkeit (q_{50}) nach EN 13829 [EN13829] herangezogen [DIN4108-7]. Sie darf den Wert von 3,0 $m^3/(h \cdot m^2)$ nicht überschreiten. Für Anschlussdetails und Regelquerschnitte werden in DIN 4108-7 beispielhaft Prinziplösungen für ein gutes Dichtungskonzept angegeben.

Der Nachweis der Luftdichtheit erfolgt mit Hilfe Differenzdruck-Messverfahrens nach EN 13829 (Blower-Door-Test). Hierbei wird mit einem Gebläse im ein Unter- bzw. Überdruck zwischen Gebäude und Umgebung erzeugt. Die Drehzahl des Gebläses wird so gewählt, dass sich der gewünschte Differenzdruck einstellt und der Luftmassenstrom gemessen wird. Diese Messung wird bei Unter- und Überdruck bei unterschiedlichen Beträgen des Differenzdrucks ausgeführt. Durch Ausgleichsrechnungen erhält man den Leckagevolumenstrom bei 50 Pascal (Pa). Durch Division des Leckagevolumenstroms mit dem beheizten Gebäudevolumen erhält man die Luftwechselrate n_{50} [Flib].

Gesetzlich gefordert wird das Nachweis der Luftdichtheit nur dann, wenn die Ermittlung von Lüftungswärmeverlusten nach EnEV rechnerisch berücksichtigt werden soll.

Weiterhin kann die Messung als Qualitätsprüfung vorgenommen werden, um festgestellte Undichtigkeiten noch vor Sanierungsabschluss beseitigt werden können. Gefundene Leckagen können auf diese Weise nachträglich abgedichtet werden.

8.3 Schallschutz

Im Wesentlichen wird der Schutz, der sich im Gebäude befindlichen Menschen vor unzumutbaren und unerträglichen Schalleinwirkungen als Sinn und Zweck des baulichen Schallschutzes definiert. Schallschutz dient folgenden Zielen: Schutz vor horizontaler und vertikaler Schallübertragung aus benachbarten Räumen, Schutz vor Lärm aus haustechnischen Anlagen und Schutz vor Außenlärm. Als Maßnahmen zum Schallschutz gelten zum einen die Reduzierung der Schallentstehung und zum anderen die Minderung der Schallübertragung. Wenn in einem Raum Schall entsteht, dann wird dieser an den Umfassungsbauteilen durchgelassen, reflektiert oder absorbiert. Der Schallpegel in einem Raum ist somit abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit von Bauteilen und Einrichtungsgegenständen, ausgedrückt durch den Absorptionsgrad.

Die Schallübertragung durch Bauteile wird grundsätzlich in Luftschallübertragung und Körperschallübertragung (mit der speziellen Form der Trittschallübertragung) unterschieden. Der Luftschall wird beispielsweise durch ein Radio erzeugt, der Körperschall durch z.B. durch Sanitär- oder Heizungsinstallationen und der Trittschall durch Laufen auf einer Decke.

Die Mindestanforderungen an den Luft- und Trittschallschutz werden in DIN 4109 und Beiblättern geregelt. Unterschieden wird hier zwischen dem Schutz im Gebäudeinneren und dem Schutz gegen Außenlärm. Als Mindestanforderung werden in DIN 4109 Grenzwerte für die schalltechnische Qualität bestimmter Bauteile angegeben. Neben diesen Mindestanforderungen werden mit dem Beiblatt 2 der DIN 4109 Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz mit dazugehörigen Empfehlungen und Beispielen für den eigenen Wohn- und Arbeitsbereich abgebildet.

Bezugnehmend auf die Fassade werden in der VDI-Richtlinie 2719 [VDI2719] alle für die Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen wesentlichen Einflussgrößen behandelt. Sie gibt Aufschluss über Lärmpegelbereiche und einzuhaltende Schalldämmmaße von Außenbauteilen.

Die Schalldämmung eines Fensters setzt sich zusammen aus Dicke, Abstand und asymmetrischen Aufbau der Gläser, der schalltechnischen Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, der Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie dem Anschluss des Fensters an den Baukörper.

Mit einer einschaligen Vorhangfassade kann aufgrund der vielen Einflussparameter häufig nur ein eingeschränkter Schallschutz erreicht werden. Das schalltechnische Hauptproblem dieses Fassadentyps liegt in der effizienten Abschottung der unterschiedlichen Geschosse sowie der benachbarten Räume. Ursache hierfür liegt im Bereich der Anschlüsse an Trennwände oder Decken. Hier treten sehr schnell erhöhte Nebenübertragungen durch Schalllängsleitungen und Schallbrücken auf. Dieser Effekt ist im Bereich der Pfosten-Riegel-Konstruktionen stärker ausgeprägt als bei Elementfassaden:

Zum einen beeinflussen Fassadenpfosten durch ihre Konstruktionsart die Schall-Längsdämmung einer Fassade. Durch die Erhöhung der Masse (z.B. Sandfüllung) ist eine schalltechnische Verbesserung von bis zu 10 dB möglich. Auch können Verbesserungen durch Mineralfaser-Füllungen oder Beschwerungen erreicht werden. Durch die aufgeführten Maßnahmen lässt sich der Luftschalldurchgang reduzieren, um auch die Körperschallübertragung unterbrechen zu können, bietet sich die Möglichkeit der Trennung der Fassadenpfosten in Längsrichtung.

Ähnlich wie bei den Fassadenpfosten tragen auch durchlaufende Fassadenriegel zur Schallübertragung zwischen zwei benachbarten Räumen bei. Nur geringe Schalldämmwerte werden erreicht, wenn im Deckenbereich ein Riegel gesetzt wird, der von beiden Geschossebenen sichtbar sein soll, dementsprechend nicht abgedeckt wird. In diesem Fall können Verbesserungen erzielt werden, wenn eine abgehängte Decke unterhalb des Riegels bis zur Fassadenoberfläche (Paneel) angebracht wird.

Wird eine monolithische Fassade durch das Aufbringen einer Dämmschicht ertüchtigt, hängen die schalltechnischen Eigenschaften von den jeweils verwendeten Systemen ab. In der Regel wird die schalldämmende Wirkung durch eine Sanierung positiv beeinflusst.

8.4 Brandschutz

Das Thema Brandschutz wird in zahlreichen Brandschutzgesetzen und Bauordnungen geregelt und umfasst dementsprechend ein weites Feld. In Bezug auf die Fassade sind zum Brandschutz im Wesentlichen folgende Punkte zu beachten [Schild]:

- Maßnahmen bzw. Vorkehrungen zur Brandverhütung
- Verhinderung bzw. Verzögerung der Brandentwicklung und -ausbreitung
- Abzug von Rauch und Wärme
- Vorkehrungen für die Brandmeldung und -warnung
- Möglichkeiten der Brandbekämpfung
- Rettung und Sicherheit von Nutzern

Prinzipiell wird zwischen dem vorbeugenden, passiven und dem abwehrenden, aktiven Brandschutz differenziert. Aufgrund des weiten Themenfeldes wird sich in folgenden Ausführungen auf die Erläuterung des passiven, baulichen Brandschutzes beschränkt, da dieser bezüglich der Thematik (Fassadensanierung) den größten Stellenwert einnimmt.

Bei baulichen Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden müssen zur Gewährleistung des Brandschutzes im Wesentlichen folgende Aspekte Berücksichtigung finden.

Unter dem Begriff Brandverhalten werden nach den gültigen Normen sowohl die Brennbarkeit als auch der Feuerwiderstand geregelt.

Die Beurteilungen der **Brennbarkeit** von Baustoffen und Bauprodukten erfolgt gemäß EN 13501-1 [EN13501-1] nach den Klassen A-F. Neben dem Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung (s1= keine Sichtbehinderung durch Rauchentwicklung; s2= Sichtbehinderung durch Rauchentwicklung und s3 = starke Sichtbehinderung durch Rauchentwicklung) und das brennende Abtropfen/Abfallen (d0= kein brennendes Abtropfen oder Abfallen; d1= brennendes Abtropfen oder Abfallen von max.10 Sekunden Länge während der Prüfdauer von 10 Minuten Beflammung und d2= brennendes Abtropfen oder Abfallen von mehr als 10 Sekunden Länge während der Prüfdauer von 10 Minuten Beflammung) berücksichtigt. Durch diese Parameter lässt sich das eingesetzte Material in die jeweilige Baustoffklasse einordnen.

Ein Vergleich dieser europäischen Norm mit der in Deutschland derzeit noch geltenden DIN 4102 ist in vielen Fällen aufgrund der unterschiedlichen Prüfkriterien nicht problemlos möglich (Tabelle 12). Die Einstufung der Baustoffe nach ihrem Brandverhalten erfolgte bis 2002 gemäß DIN 4102-1 [DIN4102-1] in zwei Baustoffklassen (A - nicht brennbare Baustoffe; B - brennbare Baustoffe).

Tabelle 12: Klassifizierung des Brennbarkeit von Baustoffen [Hauser]

Bauaufsichtliche Anforderungen	Zusatzanforderungen		Europäische Klasse nach DIN EN 13501-1		Klasse nach DIN 4102-1 (alte Bezeichnung)
	Kein Rauch	Kein brenn. Abfallen/ Abtropfen			
Nichtbrennbar	●	●	A1		A1 A2
mindestens	●	●	**A2**	**s1 d0**	
Schwerentflammbar	●	●	B,C	-s1 d0	B1
		●	A2, B, C A2, B, C	-s2 d0 -s3 d0	
	●		A2, B, C A2, B, C	-s1 d1 -s1 d2	
mindestens			**A2, B, C**	**-s3 d2**	
Normalentflammbar		●	D E	-s1 d0 -s2 d0 -s3 d0	B2
			D	-s1 d1 -s2 d1 -s3 d1 -s1d2 -s2d2 -s3d2	
mindestens			**E**	**-d2**	
Leichtentflammbar			F		B3

Der **Feuerwiderstand** von Bauteilen wird durch die Feuerwiderstandsklasse gekennzeichnet. Der Feuerwiderstand eines Bauteils steht für die Dauer, während der ein Bauteil im Falle eines Brandes mindestens seine Funktion beibehalten muss, denn nur so können beispielsweise Flucht- und Rettungswege freigehalten werden, sodass für Personen die Möglichkeit besteht, das Gebäude sicher zu verlassen. Die Anforderungen an die Ausbreitung von Feuer und Rauch sowie die Tragfähigkeit der Konstruktion werden als erfüllt betrachtet, wenn der Nachweis der Feuerwiderstandsfähigkeit von tragenden und/oder raumabschließenden Bauteilen erbracht ist.

Die unterschiedlichen Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen werden gemäß DIN 4102-2 [DIN4102-2] mit einer Kombination aus einem oder mehreren Buchstaben (als Kurzzeichen zur Beschreibung bestimmter Kriterien) sowie einer Zahl (Feuerwiderstand in Minuten) angegeben (Tabelle 13). Dabei beschreiben die Kennbuchstaben die Art des klassifizierten Bauteils (z.B. E = Wände, Decken, Gebäudestützen und -unterzüge, Treppen).

Auch hier werden die Unterschiede zur europäischen Normierung deutlich. Ähnlich wie bei der Klassifizierung von Baustoffen ist die Klassifizierung von Bauteilen gemäß EN 13501, Teile 2 und 3 [EN13501-2, EN13501-3] deutlich komplexer.

Tabelle 13: Feuerwiderstandsklassen gemäß DIN 4102-2 [DIN4102-2].

Feuerwiderstandsklasse	Funktionserhalt über	Deutsche bauaufsichtliche Benennung
F30	30 Minuten	Feuerhemmend
F60	60 Minuten	Hochfeuerhemmend
F90	90 Minuten	Feuerbeständig
F120	120 Minuten	Hochfeuerbeständig
F180	180 Minuten	höchstfeuerbeständig

Dabei werden im europäischen Klassifizierungssystem mehr Zeitintervalle berücksichtigt (15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180 und 240 Minuten). Der vorangestellte Kennbuchstabe beschreibt nicht die Art des jeweiligen Bauteil sondern die charakteristische Leistungseigenschaft, die das Bauteil innerhalb der Feuerwiderstandszeiten gewährleisten muss (z.B. R= Résistance Tragfähigkeit).

Wann in einem Gebäude welche Feuerwiderstandsklasse eingesetzt bzw. welche Entflammbarkeit der Baustoffe verwendet werden muss, entscheiden die zuständigen Baubehörden unter Berücksichtigung des Gebäudetyps, der Gebäude- sowie der Geschosshöhe und der übrigen Maßnahmen des vorgesehenen Brandschutzkonzeptes [Schild].

8.5 Normen und Richtlinien

Im Folgenden werden für das Thema „Weitere Anforderungen“ relevante Normen und Richtlinien tabellarisch abgebildet sowie ihr Inhalt stichpunktartig erläutert. Die Angabe der relevanten Normen und Richtlinien erfolgt ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

8.5.1 Feuchteschutz

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN 18195-1-10	Bauwerksabdichtungen - Teil 1: Grundsätze, Definitionen, Zuordnungen der Abdichtungsarten Teil 2: Stoffe Teil 3: Anforderungen an den Untergrund und Verarbeitung der Stoffe Teil 4: Abdichtungen gegen Bodenfeuchte (Kapillarwasser, Haftwasser) und nichtstauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden - Bemessung und Ausführung Teil 5: Abdichtungen gegen nichtdrückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen - Bemessung und Ausführung Teil 6: Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser und aufstauendes Sickerwasser - Bemessung und Ausführung Teil 7: Abdichtungen gegen von innen drückendes Wasser - Bemessung und Ausführung Teil 8: Abdichtungen über Bewegungsfugen Teil 9: Durchdringungen, Übergänge, An- und Abschlüsse Teil 10: Schutzschichten und Schutzmaßnahmen	Festlegung von Anforderungen an die Abdichtung von Bauwerken.
DIN 4108-3 (EDIN 4108-3)	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung	Festlegung feuchtschutztechnischer Anforderungen. Definition von feuchteschutz-relevanten physikalischen Größen.

EN ISO 13788	Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren	Beschreibung vereinfachter Verfahren zur Berechnung der raumseitigen Oberflächentemperatur von Bauteilen und Bauelementen zur Beurteilung des Risikos zur Tauwasserbildung auf der raumseitigen Oberfläche sowie im Bauteilinneren infolge von Wasserdampfdiffusion.

8.5.2 Luftdichtheit

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN 4108-7	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 7 : Luftdichtheit von Gebäuden - Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele	Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen/-beispiele sowie Auflistung geeigneter Bauprodukte zur Einhaltung der Anforderungen an die Luftdichtheit von beheizten oder klimatisierten Gebäuden und Gebäudeteilen.
EN 12207	Fenster und Türen - Luftdurchlässigkeit - Prüfverfahren	Festlegung der Klassifizierung von Prüfungsergebnissen für vollständig zusammengebaute und fertiggestellte Fenster und Türen aller Materialien.
EN 13829	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren	Charakterisierung der Luftdichtheit der Hülle von Gebäuden oder Gebäudeteilen durch das Differenzdruckverfahren. Beschreibung der Anwendung von Über- oder Unterdruck in Gebäuden oder Gebäudeteilen. Beschreibung der Messung der resultierenden Luftvolumenströme in Abhängigkeit von verschiedenen Druckdifferenzen von innen und außen.
DIN 18540	Abdichten von Außenwandfugen im Hochbau mit Fugendichtstoffen	Anforderungen an die Prüfung von Fugendichtstoffen sowie die konstruktive Ausbildung der Fugen und ihre Abdichtung mit Fugendichtstoffen.

8.5.3 Schallschutz

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN 4109	Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise	Festlegung der Anforderungen an den Schallschutz mit dem Ziel, Menschen in Aufenthaltsräumen vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragung zu schützen. Berichtigung der Norm im Jahr 1992.
DIN 4109 Bbl. 2	Schallschutz im Hochbau - Hinweise für Planung und Ausführung - Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz - Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich	Hinweise für die Bauplanung und Bauausführung sowie Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich. Empfehlungen für den Schallschutz gegen Schallübertragung im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich. Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz gegen Geräusche aus haustechnischen Anlagen.
EN ISO 717-1-2	Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung Teil 2: Trittschalldämmung	Teil 1: Festlegung von Einzelangaben für die Luftschalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen wie Wänden, Decken, Türen und Fenstern. Teil 2: Festlegung von Einzelangaben für die Trittschalldämmung in Gebäuden und von Decken.

VDI 2719	Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen	Auflistung der wesentlichen Kenngrößen für die Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen.
VDI 4100	Schallschutz von Wohnungen - Kriterien für Planung und Beurteilung	Festlegung von drei Schallschutzklassen für Wohnungen und wohnungsähnliche Räume. Ziel ist der Schutz von Personen vor unakzeptablen und störenden Lärm, verursacht durch unterschiedliche Lärmquellen innerhalb und außerhalb. Deklaration höherer Schallschutzklassen mit dem Ziel, höhere Komfortansprüche auch aus akustischer Sicht Rechnung zu tragen.

8.5.4 Brandschutz

Bezeichnung	Titel	Beschreibung
DIN 4102-1-2	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen - Teil 1: Baustoffe - Begriffe, Anforderungen und Prüfungen Teil 2: Bauteile - Begriffe, Anforderungen und Prüfungen	Klassifizierung des Brandverhaltens von Baustoffen zur Beurteilung des Risikos als Einzelbaustoff und im Verbund mit anderen Baustoffen. Norm wurde von EN 13501 abgelöst.
EN 13501-1-2	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen	Festlegung der Verfahren zur Klassifizierung des Brandverhaltens von Bauprodukten einschließlich der Produkte innerhalb der Bauteile.

Leitfaden für abgestimmte Modernisierungs-empfehlungen bei Nichtwohngebäuden unter besonderer Berücksichtigung der Fassade

Leitfaden - Maßnahmenkatalog

9 Maßnahmenkatalog

Auf der Basis typischer Ausgangssituationen von Bestandsfassaden werden auf 25 Maßnahmenblättern in kompakter Form Modernisierungsempfehlungen beschrieben, die zur Orientierung bei Energieberatungsgesprächen dienen oder für den Investor als Kurzinformation genutzt werden können. Dabei orientiert sich der Aufbau der Blätter an einer einheitlichen Grundstruktur. Diese setzt sich zusammen aus einem textlichen Teil, in welchem in Textform die Maßnahmen und ihre Besonderheiten bezogen auf unterschiedliche Ausgangsfälle beschrieben sind. Daran schließt sich eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung an, bei welcher in Tabellenform und anhand von Graphiken die energetischen und ökonomischen Berechnungsergebnisse darstellt und einige Zwischenergebnisse dokumentiert sind.

9.1 Informationsquellen

Einzelne Literaturverweise werden auf den Maßnahmenblättern nicht separat aufgeführt. Aus diesem Grund erfolgt an dieser Stelle eine Auflistung der wesentlichen Informationsquellen, die neben eigenen internen Kenntnissen zur Erstellung der Standardtexte herangezogen worden sind:

- Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand. [Ornth]
- Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern. [VFF]
- Modernisierungsempfehlungen im Rahmen der Ausstellung eines Energieausweises. [Hauser]
- Handbuch Fassadendämmsysteme. Grundlagen. Produkte. Details. [Schild]
- Energetische Sanierung. Grundlagen. Details. Beispiele. [Richarz]
- Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung (EnEV). [EnEV]

Ein besonderer Dank gilt der tatkräftigen Unterstützung der projektbegleitenden Arbeitsgruppe!

9.2 Untersuchte Ausgangsfälle

Tabelle 14 zeigt einen Überblick über die untersuchten Ausgangsfälle sowie den Modernisierungsempfehlungen für den opaken Teil der Fassade. Je nach Ausgangssituation wird die Art der Dämmung des opaken Anteils der Fassade beeinflusst. Die unterschiedlichen Konstruktionen sind mit der Angabe eines pauschalen Wärmedurchgangskoeffizienten (Bandbreite) abgebildet, da aufgrund der noch großen Informationslücken im Nichtwohngebäudebestand keine differenzierten Aussagen zu Materialien, Konstruktionsaufbauten, etc. getroffen werden können. Vielmehr geht es um die Untersuchung der möglichen zu erzielenden Einsparung bei ähnlichem Konstruktionsaufbau sowie der Darstellung möglicher und sinnvoller Modernisierungsempfehlungen.

Neben diesen Sanierungsvarianten werden für die jeweiligen Fälle zusätzlich der Fensteraustausch als Einzelmaßnahme sowie die Sanierung der opaken und transparenten Bereiche in Kombination dargestellt. Pro Ausgangsfall ergeben sich demnach drei mögliche Sanierungsvarianten. Einzige Ausnahme stellt hierbei die Vorhangfassade dar, für die der komplette Fassadenaustausch als einzige Maßnahme abgebildet ist.

Sowohl Fassaden- als auch Fensteraustausch umfassen zwei verschiedene Ausführungen bzw. Berechnungsansätze. Zunächst wird die Einhaltung der Mindestanforderungen nach EnEV 2009 (Anforderungen bei Änderung von Außenbauteilen) in Ansatz gebracht, des Weiteren eine verbesserte Sanierungsvariante, bei der die Mindestanforderungen unterschritten werden.

Auch die Maßnahmenkombinationen beinhalten diese zwei Varianten, bei denen die transparenten Flächen der Fassaden mit zwei unterschiedlichen Werten abgebildet werden. Die untersuchten Sanierungsvarianten sowie die Anforderungswerte hierzu sind in Tabelle 15 abgebildet.

Tabelle 14: Ausgangsfälle und Maßnahmentypen für den opaken Anteil Fassade.

Nr.	Index	Ausgangsfall	U-Wert [W/m²K]	Maßnahmentyp opake Fassade
1	AW-Ma 1	Massivbau, einschalig, Lochfassade, ungedämmt	1,4-1,0	Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
2	AW-Ma 2	Massivbau, einschalig, Lochfassade, ungedämmt	1,4-1,0	vorgehängte, hinterlüftete Fassade
3	AW-Ma 3	Massivbau, einschalig, Lochfassade, ungedämmt, erhaltenswert	1,4-1,0	Innendämmung
4	AW-Ma 4	Massivbau, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt	1,3-1,1	Kerndämmung
5	AW-Ma 5	Massivbau, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt	1,3-1,1	Kerndämmung und WDVS
6	AW-Ma 6	Massivbau, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt, erhaltenswert	1,3-1,1	Kerndämmung und Innendämmung
7	AW-Sk 1	Skelettbauweise, Loch- oder Bandfassade, ungedämmt	2,5-1,0	Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
8	AW-Sk 2	Skelettbauweise, Loch- oder Bandfassade, ungedämmt, erhaltenswert	2,5-1,0	Innendämmung
9	AW-Vf 1	Vorhangfassade	4,0-2,3	Fassadenaustausch

Tabelle 15: Sanierungsvarianten für Massiv- und Skelettbau (1 bis 5) sowie Vorhangfassaden (6 und 7).

Nr.	Bauweise	Sanierungsvariante
1	Massiv-/Skelettbau	Einzelmaßnahme opaker Anteil Fassade U = 0,24 W/(m²K) bzw. U = 0,35 W/(m²K) bei Innendämmung
2	Massiv-/Skelettbau	Einzelmaßnahme Fenstertausch U = 1,3 W/(m²K)
3	Massiv-/Skelettbau	Einzelmaßnahme Fenstertausch U = 0,95 W/(m²K)
4	Massiv-/Skelettbau	Kombinierte Maßnahme: Dämmung und Fenstertausch U = 1,3 W/(m²K)
5	Massiv-/Skelettbau	Kombinierte Maßnahme: Dämmung und Fenstertausch U = 0,95 W/(m²K)
6	Vorhangfassade	Fassadenaustausch U_{cw} = 1,5 W/(m²K)
7	Vorhangfassade	Fassadenaustausch hochwärmedämmend U_{cw} = 0,96 W/(m²K)

9.3 Lesehilfe Maßnahmenblätter

Alle Maßnahmenblätter beginnen mit der Beschreibung der Ausgangssituation und der Sanierungsmaßnahmen auf der linken Textseite. Bei einigen Fällen wird bewusst eine Seite frei gelassen, um eine verbesserte Lesbarkeit bzw. Vergleichbarkeit der Wirtschaftlichkeitstabellen zu erhalten.

Die tabellarische Darstellung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen fasst zunächst die Ermittlung der mittleren Baukosten zusammen. Diese sind in zwei Spalten einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung der sogenannten "Sowiesokosten" aufgeführt. Diese Kosten umfassen diejenigen Baukosten, welche "sowieso" anfallen, wenn davon auszugehen ist, dass eine Sanierung geplant ist, z.B. die Aufstellung des Außengerüsts oder der Fenstertausch auf das notwendige EnEV-Niveau mit U = 1,3 W/(m²K).

Die mittleren Baukosten ergeben sich je nach Sanierungsvariante und Maßnahmentyp beispielsweise aus den Kosten für die Dämmung des opaken Anteils der Fassade, ggf. zuzüglich Zusatzkosten wie Außengerüst oder Unterkonstruktion, den Kosten des Fensteraustauschs sowie der Kosten für Erneuerung des Sonnenschutzes.

Die Werte sind jeweils auf das Bauteil selbst bezogen (Bezugsfläche opake oder transparente Fassade) oder auf die gesamte Fassade (z.B. Außengerüst). Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, sind diese unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung zu berücksichtigen. Die Summe wird je nach Fensterflächenanteil bezogen auf die Gesamtfassade angegeben. Genauere Angaben zu den Baukosten befinden sich in Abschnitt 10.2 Kennwerte der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite "von ... bis", d.h. in einer Größenordnung, welche für diesen Ausgangsfall typischerweise anzutreffen ist. Die U-Werte für den sanierten Zustand liegen im Bereich des Anforderungsniveaus gemäß EnEV. Für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Durch die Kombination von U-Werten „von ... bis“ sowie Aufwandszahlen „von ... bis“ ergeben sich vier Werte, welche die Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand widerspiegeln.

Bei den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wird die Struktur der Bandbreite weitergeführt, d.h. die Zahlenwerte sind den vier vorher definierten Spalten der unterschiedlichen energetischen Qualitäten zugeordnet. Die Energieeinsparung der Sanierung wird dabei als "delta" angegeben, also als Differenz des berechneten Endenergiebedarfs für den IST-Zustand und die Sanierung. Darüber hinaus ist die prozentuale Änderung bezogen auf den IST-Zustand angegeben. Die Werte wurden für unterschiedliche Nutzungen (Büro/Schule oder Hotel/Sportstätte) ermittelt. Ebenfalls variiert bei den Berechnungen wurden Fensterflächenanteile und Orientierung. In der Tabelle dargestellt ist jedoch nur der Wert für den Basisfall, d.h.

- Fensterflächenanteil f_w = 50 %
- Orientierung Ost/West

Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben.

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten einmal ohne und einmal mit Be-

rücksichtigung der Sowiesokosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen (Tabelle 16). Diese Bedingung ist in den Graphiken darstellt. Die horizontalen Verläufe geben den mittleren Energiepreis für drei verschiedene Szenarien wieder, bei Variation der Energiepreissteigerungen von 3 % über 5 % bis 7 %. Auf die gleichen Vergleichswerte bezieht sich auch die farbige Darstellung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in der Tabelle, welche wie folgt definiert ist:

- Kosten eingesparte kWh < Energiepreis (Preissteigerung 3 %) = dunkelgrün
- Kosten eingesparte kWh < Energiepreis (Preissteigerung 5 %) = hellgrün
- Kosten eingesparte kWh < Energiepreis (Preissteigerung 7 %) = blau
- Kosten eingesparte kWh > Energiepreis (Preissteigerung 7 %) = rot

Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.

Die verschiedenen Balken geben dabei die Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand wieder, wie oben in der vierspaltigen tabellarischen Darstellung. Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile fW.

Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit wurden die Nutzungen Büro, Schule, Hotel und Turnhallen hinterlegt.

Tabelle 16: Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.

Randbedingungen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	Einheit	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Kalkulationszinssatz	[%]		3,45 %	
Betrachtungszeitraum	[a]		40	
Annuitätsfaktor (Bezug: ct)	[-]		4,65	
Energiepreis aktuell	[ct]		7,00	
Energiepreissteigerung	[%/a]	3 %	5 %	7 %
mittlerer Energiepreis über Betrachtungszeitraum	[ct/kWh]	11,91	17,91	28,00

9.3.1 Kennwerte des baulichen Wärmeschutzes

Tabelle 17 zeigt die für die Berechnungen festgelegten Kennwerte des baulichen Wärmeschutzes im IST-Zustand. Die Bestimmung Ausgangskennwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten wurde auf Basis der Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand [Ornth] sowie des Forschungsberichts Typisierte Bauteilaufbauten - Präzisierung der Pauschalwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten aus der Bekanntmachung der Regeln der Datenaufnahme im Nichtwohngebäudebestand [Thiel] vorgenommen. Die Angaben zu den Wärmedurchgangskoeffizienten für die Vorhangfassade stammen vom Verband Fenster + Fassade. Es handelt sich um baualtertypische Kennwerte für den Zeitraum 1949-1978.

Tabelle 17: Kennwerte des baulichen Wärmeschutzes im Ist-Zustand.

Nr.	Kürzel	U_{opak}	$U_{transparent}$	U_{cw}	ΔU_{WB}	g [-]	T_{D65} [-]	F_C [-]
		[W/(m²K)]						
1	AW-Ma 1	1,4 .. 1,0	5,0 .. 2,7	-	0,10	0,87 .. 0,78	0,90 .. 0,82	0,25
2	AW-Ma 2	1,4 .. 1,0	5,0 .. 2,7	-	0,10	0,87 .. 0,78	0,90 .. 0,82	0,25
3	AW-Ma 3	1,4 .. 1,0	5,0 .. 2,7	-	0,10	0,87 .. 0,78	0,90 .. 0,82	0,70
4	AW-Ma 4	1,3 .. 1,1	5,0 .. 2,7	-	0,10	0,87 .. 0,78	0,90 .. 0,82	0,25
5	AW-Ma 5	1,3 .. 1,1	5,0 .. 2,7	-	0,10	0,87 .. 0,78	0,90 .. 0,82	0,25
6	AW-Ma 6	1,3 .. 1,1	5,0 .. 2,7	-	0,10	0,87 .. 0,78	0,90 .. 0,82	0,70
7	AW-Sk 1	2,5 .. 1,0	5,0 .. 2,7	-	0,10	0,87 .. 0,78	0,90 .. 0,82	0,25
8	AW-Sk 2	2,5 .. 1,0	5,0 .. 2,7	-	0,10	0,87 .. 0,78	0,90 .. 0,82	0,70
9	AW-Vf 1	2,0 .. 1,5	6,0 .. 3,2	4,0 .. 2,3	0	0,86 .. 0,77	0,90 .. 0,82	0,25

Tabelle 18: Kennwerte des baulichen Wärmeschutzes für die Sanierungsvarianten.

Nr.	Sanierungsvariante	U_{opak}		$U_{transparent}$	U_{cw}	ΔU_{WB}	g [-]	T_{D65} [-]	F_C [-]
	Anordnung der Dämmung	[W/(m²K)]							
		außen	innen						
1	Dämmung opaker Anteil Fassade	0,24	0,35	wie IST	-	wie IST	wie IST	wie IST	wie IST
2	Fensteraustausch U = 1,3 W/(m²K)	wie IST	wie IST	1,3	-	wie IST	0,60	0,78	wie IST
3	Fensteraustausch U = 0,95 W/(m²K)	wie IST	wie IST	0,95	-	wie IST	0,60	0,74	wie IST
4	Dämmung + Fensteraustausch U = 1,3 W/(m²K)	0,24	0,35	1,3	-	wie IST	0,60	0,78	wie IST
5	Dämmung + Fensteraustausch U = 0,95 W/(m²K)	0,24	0,35	0,95	-	wie IST	0,60	0,74	wie IST
6	Fassadenaustausch U_{cw} = 1,5 W/(m²K)	1,3		1,7	1,5	wie IST	0,60	0,8	wie IST
7	Fassadenaustausch U_{cw} = 0,96 W/(m²K)	0,91		1,0	0,96	wie IST	0,50	0,72	wie IST

In Tabelle 18 sind die Kennwerte des baulichen Wärmeschutzes für die Sanierungsvarianten aufgeführt. Bezüglich des opaken Fassadenanteils gilt als Wert die Einhaltung der Mindestanforderung der EnEV 2009 (Anforderungen bei Änderung von Außenbauteilen). Je nach Art der Sanierungsmaßnahme (z.B. Außendämmung, Innendämmung, etc.) können dies unterschiedliche Werte darstellen. Die Kerndämmung (nicht abgebildet) stellt hierbei eine Ausnahme dar, denn laut EnEV 2009 gelten die Anforderungen als

erfüllt, wenn der bestehende Hohlraum zwischen den Schalen vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt wird. Findet ein Fenster- oder Fassadenaustausch (Vorhangfassade) statt, existieren für die Sanierungsvariante zwei unterschiedliche Anforderungswerte. Einmal stellt dies auch der Mindestanforderungswert der EnEV 2009 dar, des Weiteren eine verbesserte Variante, die auf den Maßnahmenblättern als „verbessert“ bezeichnet wird.

9.3.2 Kennwerte der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Ziel der Kostenermittlung ist es, einen groben Überblick über relevante Kosten für die untersuchten Modernisierungsempfehlungen zu schaffen. Aus diesem Grund wurden auf Basis unterschiedlicher Quellen Durchschnittswerte der für die jeweilige Position ermittelten Kosten zusammengestellt und anschließend die Sowiesokosten extrahiert. Die für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung angesetzten Investitionskosten bestehen aus Ausführungen unterschiedlicher Forschungsarbeiten und Quellen sowie eigenen Schätzungen. Darüber hinaus wurden Angebote für bestimmte Maßnahmen eingeholt. Es handelt sich dabei um Bruttopreise. Ein besonderer Dank gilt dem Institut für Wohnen und Umwelt, welches im Rahmen der Forschungsarbeit „Typologie Nichtwohngebäude - Energetische Modernisierungsmaßnahmen“ ermittelte Kosten für Baumaßnahmen zur Verfügung gestellt hat.

Als Sowiesokosten wurden die Kosten angenommen, die im Fall einer Sanierung ohne energetischen Hintergrund „sowieso“ angefallen würden. Die Differenz zwischen Baukosten und Sowiesokosten ergibt die Kosten, die für eine energetische Sanierung zusätzlich aufgewendet werden müssen.

Aufgrund der Struktur der für die Berechnung der Energieeinsparung entwickelten Methodik werden die Kosten der Fenster auf den Quadratmeter bezogen, obwohl diese typischerweise pro Stück berechnet werden.

Die Kosten für die Sanierungsvariante Wärmedämmverbundsystem (WDVS) beziehen sich auf ein System mit Mineralwolle, da dies gegenüber dem Einsatz von Polystyrol PS Hartschaum, universell einsetzbar ist. Die Kosten für das PS-System liegen im Durchschnitt etwas niedriger.

In den Berechnungen werden die Vollkosten eines Fenstertausches ausgewiesen. Von Interesse ist außerdem die Wirtschaftlichkeit der Investition in das beschriebene, hochwertige moderne Fenster (U = 0,95 W/(m²K); g = 0,60) im Vergleich zu einer „Ohnehin-Maßnahme“, also einem Fenstertausch, der nicht aus energetischen, sondern aus funktionalen Gründen erforderlich ist (Funktionsstörung, Funktionsausfall, Verschleiß).

Als Vergleichsmaßstab wird hierfür einen Fensterstandard herangezogen, der von der Energieeinsparverordnung 2009 als Mindestanforderung für den Austausch verlangt wird: U = 1,3 W/(m²K) (in der Praxis bedeutet das eine Ausführung mit Zweischeiben-Wärmedämmglas; g = 0,60). Die analogen Marktpreise für ein solches Fenster nach Mindestanforderung in der Größe 1,3 x 1,3 m inkl. Montage und MwSt. wurden ermittelt und mit den Marktanteilen der Rahmenmaterialien gewichtete Durchschnittspreise gebildet. Entscheidet man sich also im Falle des „ohnehin“ anstehenden Fenstertausches dazu, in das hochwertige moderne Fenster (U = 0,95 W/(m²K); g = 0,60) statt des Fensters nach Mindestanforderung zu investieren, so betragen die Mehrkosten je Fenster in der Größe 1,3 x 1,3 m je nach Rahmenmaterial zwischen 81,- und 88,- €

inkl. Montage und MwSt. Diese Kosten werden als zusätzliche Berechnungsgröße „mit Berücksichtigung der Sowiesokosten“ ausgewiesen.

Für die Vorhangfassade wird ein Fassadenelement mit 50 % Fensterflächenanteil als Grundlage für die Untersuchung herangezogen. Ein Element (3,30 m x 2,50 m) enthält zwei Fenster, von denen eins mit öffenbaren Beschlägen ausgestattet ist und das zweite eine Festverglasung darstellt. Die Kosten für die Fassadenelemente wurden vom Verband Fenster + Fassade ermittelt. Auch diese werden auf den Quadratmeter bezogen. Die Tabellen 19 und 20 zeigen eine Zusammenstellung der angesetzten Baukosten für die opaken und transparenten Fassadenteile.

Tabelle 19: Baukosten der Sanierungsvarianten für den opaken Fassadenteil ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten. Flächenbezug: opaker Anteil Fassade.

Nr.	Kürzel	Sanierungsvariante	Dämmung (1) [€/m²]		Dämmung (2) [€/m²]		Außengerüst [€/m²]		Zusatzkosten [€/m²] 1) 2)	
		Berücksichtigung der Sowiesokosten	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
1	AW-Ma 1	WDVS (Mineralwolle)	55	55	-	-	12	0	45	0
2	AW-Ma 2	vorgehängte, hinterlüftete Fassade	176	176	-	-	12	0	31	0
3	AW-Ma 3	Innendämmung	199	199	-	-	-	0	-	0
4	AW-Ma 4	Kerndämmung	27	27	-	-	-	0	-	0
5	AW-Ma 5	Kerndämmung (1) + WDVS (2)	27	27	55	55	12	0	45	0
6	AW-Ma 6	Kerndämmung (1) + Innendämmung (2)	27	27	199	199	-	0	-	0
7	AW-Sk 1	WDVS (Mineralwolle)	55	55	-	-	12	0	45	0
8	AW-Sk 2	Innendämmung	199	199	-	-	-	0	-	0

1) Zusatzkosten WDVS: Vorbereitung, Verputz, Farbe
2) Zusatzkosten vorgehängte hinterlüftete Fassade: Unterkonstruktion, Bekleidung

Tabelle 20: Baukosten der Sanierungsvarianten den transparenten Fassadenteil ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten. Flächenbezug: transparenter Anteil Fassade.

Sanierungsvariante	Kosten [€/m²]		Bezugsfläche
Berücksichtigung der Sowiesokosten	ohne	mit	
Fenstertausch U = 1,3 W/(m²K)	484	0	Fenster
Fenstertausch U = 0,95 W/(m²K)	532	48	Fenster
Austausch Vorhangfassade Ucw = 1,5 W/(m²K)	532	0	Fassade
Austausch Vorhangfassade hochwärmedämmend Ucw = 0,96 W/(m²K)	574	50	Fassade
Erneuerung Sonnenschutz außen	226	0	Fenster
Erneuerung Sonnenschutz innen (erhaltenswert)	44	0	Fenster

9.4 Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die in den einzelnen Maßnahmenblättern ausgewiesenen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen können wie folgt kurz zusammengefasst werden.

In den Fällen, die einen wärmeschutztechnisch schlechten Ausgangszustand bewerten, unterschreiten die Sanierungskosten bei allen betrachteten Maßnahmen den bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von jährlich 3 % resultierenden mittleren Energiepreis (11,9 ct/kWh). In den meisten Fällen wird der mit 7 ct/kWh angenommene aktuelle Energiepreis unterschritten.

Auch wenn der Ausgangszustand ein verbessertes Wärmeschutzniveau aufweist, liegen die Sanierungskosten in den meisten Fällen unter dem mittleren Energiepreis bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von jährlich 3 %, bzw. dieser wird knapp überschritten.

Nur im Fall des Austausches einer Vorhangfassade, bei der im Ausgangszustand bereits ein verbessertes Wärmeschutzniveau vorhanden ist, liegen die Sanierungskosten oberhalb des mittleren Energiepreises bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von jährlich 5 %.

Insgesamt kann eine hohe Wirtschaftlichkeit der vorgestellten Maßnahmen festgestellt werden!

9.5 Übersicht

Der Maßnahmenstruktur liegt eine Matrix der betrachteten Bestandskonstruktionen und der Sanierungsmaßnahmen zugrunde. Tabelle 21 zeigt die Matrix mit den entsprechenden Kriterien. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der vorangegangenen Tabellen mit den wichtigsten Informationen zur Übersicht.

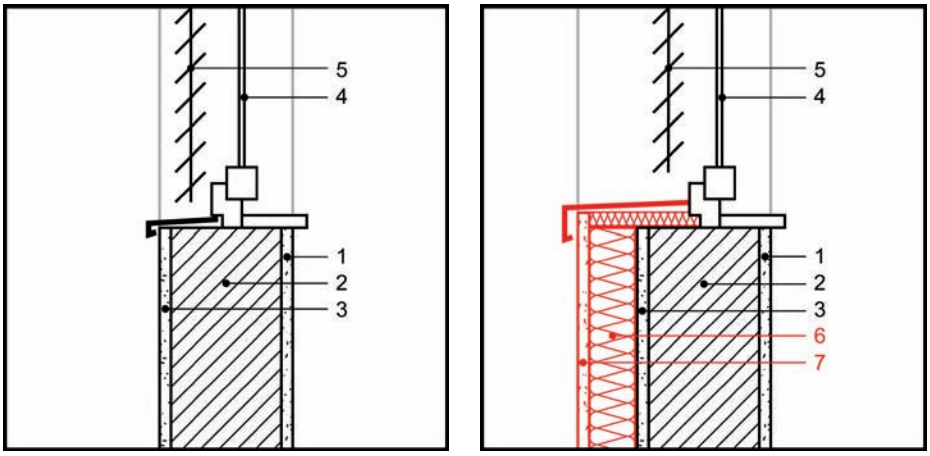
Tabelle 21: Matrix zur Zusammenfassung der Maßnahmenstruktur

Statik	Konstruktion / Bauweise	Gestaltungs-merkmal	IST-Zustand	IST U-Wert [W/m²K] 1949-1978	Nutzungen (Fensterfl.)	Maßnahmen / Prosa	U-Wert Soll [W/m²K]	Index	Seite
Tragend	Massivbauweise, einschalig	Lochfassade	ungedämmt	1,4-1,0	Büro, Schule	WDVS	0,24	AW-Ma 1.1	86
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Ma 1.2 / 1.3	90
						Kombination WDVS und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Ma 1.4 / 1.5	96
			ungedämmt	1,4-1,0	Büro, Schule	Vorgehängte, hinterlüftete Fassade	0,24	AW-Ma 2.1	102
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Ma 2.2 / 2.3	106
						Kombination vorgehängte hinterlüftete Fassade und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Ma 2.4 / 2.5	112
			ungedämmt erhaltenswert	1,4-1,0	Büro, Schule	Innendämmung	0,35	AW-Ma 3.1	118
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Ma 3.2 / 3.3	124
						Kombination Innendämmung und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Ma 3.4 / 3.5	130
	Massivbauweise, zweischalig	Lochfassade	ungedämmt	1,3-1,1	Büro, Schule	Kerndämmung	-	AW-Ma 4.1	136
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Ma 4.2 / 4.3	140
						Kombination Kerndämmung und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Ma 4.4 / 4.5	146
			ungedämmt	1,3-1,1	Büro, Schule	Kerndämmung und WDVS	0,24	AW-Ma 5.1	152
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Ma 5.2 / 5.3	156
						Kombination Kerndämmung u. WDVS und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Ma 5.4 / 5.5	162
			ungedämmt, erhaltenswert	1,3-1,1	Büro, Schule	Kerndämmung und Innendämmung	0,35	AW-Ma 6.1	168
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Ma 6.2 / 6.3	174
						Kombination Kerndämmung u. Innendämmung und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Ma 6.4 / 6.5	180
Nicht tragend	Skelettbauweise, massive Ausfachung oder massive, vorgehangene Elemente (z.B. Beton)	Lochfassade, Bandfassade	ungedämmt	2,5-1,0	Büro , Schule, Hotel, Sporthalle	WDVS	0,24	AW-Sk 1.1	186
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Sk 1.2 / 1.3	192
						Kombination WDVS und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Sk 1.4 / 1.5	200
			ungedämmt, erhaltenswert	2,5-1,0	Büro , Schule, Hotel, Sporthalle	Innendämmung	0,35	AW-Sk 2.1	208
						Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,3 / 0,95	AW-Sk 2.2 / 2.3	214
						Kombination Innendämmung und Fensteraustausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	-	AW-Sk 2.4 / 2.5	222
	Skelettbauweise, vorgehangene Fassadenelemente, Leichtbauweise	Elementfassade, Pfosten-Riegel-Fassade	ungedämmt	4,0-2,3	Büro , Schule, Hotel, Sporthalle	Austausch, EnEV (2009) - Standard und verbessert	1,5 / 0,96	AW-Sk 3.1	230

alt **Massivbauweise, einschalig, Lochfassade, ungedämmt, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Wärmedämmverbundsystem (WDVS)**

AW-Ma 1.1



Ausgangssituation | Sanierungsmaßnahme

1 Innenputz, Bestand
2 tragende Massivwand (Mauerwerk, Beton)
3 Außenputz, Bestand
4 Fenster
5 Sonnenschutz, Bestand
6 Wärmedämmung (neu)
7 Armierungsgewebe, Systemputz (neu)

System

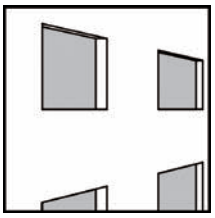
Ein WDV-System besteht aus mehreren Schichten. Dabei wird der Dämmstoff entweder vollflächig oder im Randwulst-Punkt-Verfahren mit Kleber oder mit Mörtel auf der bestehenden Wand verklebt um eine Hinterströmung mit Außenluft zu vermeiden. Bei der Verwendung von Faserplatten als Dämmmaterial oder bei nicht genügend tragfähigem Untergrund ist eine zusätzliche Verdübelung der Dämmung erforderlich. Die Anzahl der notwendigen Dübel und die jeweilige Verankerungstiefe richten sich nach dem vorhandenen Untergrund und werden vom Systemhersteller angegeben. Treten bei der Fassade starke Unebenheiten auf, werden Schienensysteme oder Spezialbefestigungen eingesetzt. Auf die Dämmung wird ein Unterputz mit Armierungsgewebe aufgebracht, der die Rissbildung durch thermische Spannungen verhindert. Nachdem der Armierungsputz abgebunden und trocken ist, erfolgt die Aufbringung einer Deckschicht (z.B. Putz, Riemchen o.ä.), die je nach Farbe oder Körnung die spätere Optik bestimmt. Es dürfen nur komplette, bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme verwendet werden.

Vorteile

Die außenliegende Dämmung durch ein WDV-System schützt den Wandaufbau vor thermischen Belastungen, wie starker Aufheizung oder Abkühlung sowie andere äußere Schichten auch vor Schlagregenbeanspruchung. Daraus resultiert ein dauerhaft spannungs- und rissfreier Wandaufbau. Ein Wärmedämmverbundsystem stellt sich bei sorgfältiger Umsetzung als bauphysikalisch unbedenkliche Konstruktion dar. Auch bestehende Wärmebrücken können bei sachgemäßer Ausführung deutlich reduziert werden. Durch die Anbringung der Dämmung von außen wird die Nutzung während der Sanierung nur im geringen Maße beeinträchtigt. Die Speichermasse der Wand bleibt erhalten, wodurch das sommerliche Raumklima positiv beeinflusst wird. Darüber hinaus zählt die energetische Ertüchtigung der Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem zu den kostengünstigen Sanierungsmaßnahmen.

Besonderheiten

Eine außenseitige Dämmung der Außenwand bietet sich dann an, wenn ohnehin Maßnahmen zur Erneuerung des Putzes oder des Anstriches anstehen. Die durch die energetische Aufwertung verursachten Zusatzkosten fallen bei umfassenden Instandsetzungsmaßnahmen weniger stark ins Gewicht. Im Vorfeld ist zu klären, ob die Wand ausreichend trocken und standsicher und der Außenputz genügend tragfähig ist, ggf. müssen Nachbesserungen durchgeführt bzw. lose Putzbereiche abgeschlagen werden. Bei der Verlegung der Dämmplatten sollte darauf geachtet werden, dass Kreuzfugen und Fugen im Eckbereich von Öffnungen vermieden werden. Ebenso sorgfältig sind die Detailausbildungen an Fensterlaibung und Fensterbank zu planen.



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 1,4 - 1,0 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,24 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Lochfassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

Winterlicher Wärmeschutz

Wird bei einer Außenwand eine Dämmung von außen angebracht, fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 den U-Wert der Wand mit U ≤ 0,24 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie U ≤ 0,35 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Für Wärmedämmverbundsysteme geeignete Dämmstoffe gibt es mit λ-Werten (Bemessungswert für die Wärmeleitfähigkeit) von 0,022 bis 0,050 W/(mK). Die standardisierten Materialstärken betragen je nach Einsatzart (Wandfläche, Fensterlaibung, etc.) zwischen 20 - 200 mm, meist mit Abstufungen von 20 mm. Bei der Festlegung der Plattendicke ist zu prüfen, ob für das gewählte System die gewünschte Dimensionierung zugelassen ist.

Wärmebrücken

Wärmetechnische Unregelmäßigkeiten im Aufbau der tragenden Wand durch z.B. Betonteile werden durch WDV-Systeme in ihrer Wärmebrückenwirkung deutlich reduziert. Um Wärmebrücken zu vermeiden, darf die Dämmebene an den Anschlussstellen an andere Bauteile (z.B. Dach, Fenster, etc.) nicht unterbrochen werden. Zusätzlich zu beachten ist ggf. die örtliche Wärmebrückenwirkung der Dübel. In Abhängigkeit von der Anzahl der Dübel und des verwendeten Produkts sind Aufschläge auf den U-Wert beim rechnerischen Nachweis zu berücksichtigen. Diese sind nur dann notwendig, wenn systembedingt die erforderliche Dübelanzahl überschritten wird. Bei unbeheizten Kellern sollte die Außenwand 50 cm über die Kellerdeckeneinbindung nach unten hin gedämmt werden. Auf die Einhaltung des Spritzwasserbereichs am Boden von mindestens 30 cm ist zu achten.

Feuchteschutz

Für bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme ist ein rechnerischer Nachweis zur Tauwasserbildung nach DIN 4108-3 nicht erforderlich. Durch die außenseitige Dämmschicht wird die Temperatur im Wandquerschnitt und somit auch an der inneren Bauteiloberfläche erhöht, wodurch bei fachgerechter Planung das Risiko des Tauwasserausfalls und die Gefahr von Schimmelbildung reduziert werden.

Luftdichtheit

Ein WDV-System bildet nicht zwangsläufig eine luftdichte Schicht, was auf die Anschlüsse an andere Bauteile, wie z.B. Fensterrahmen, aber auch auf systembedingte Fugen an den Plattenstößen zurückzuführen ist. Die luftdichte Schicht wird z.B. durch eine intakte Innentragstruktur (z.B. Innenputz) gebildet.

Sommerlicher Wärmeschutz

Die Anbringung eines WDV-Systems wirkt sich, neben der Verbesserung des winterlichen Wärmschutzes, bei richtigem Nutzerverhalten in der Regel auch positiv auf die sommerlichen Raumtemperaturen aus, da sich durch den erhöhten Wärmedurchlasswiderstand der ertüchtigten Konstruktion die Außenwände durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmen. Des Weiteren nimmt ein von außen angebrachtes WDV-System keinen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Außenwände und die Nutzung. Voraussetzung für akzeptable Innenraumtemperaturen ist in jedem Fall das Vorhandensein eines Sonnenschutzes für die transparenten Bauteilflächen.

Schallschutz

Die schallschutztechnische Qualität eines Wärmedämmverbundsystems hängt stark vom verwendeten System und Material ab. Die dynamische Steifigkeit des verwendeten Dämmstoffes und die flächenbezogene Masse des Putzes sind einflussnehmende Faktoren. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass WDV-Systeme mit Dämmplatten aus Mineralfasern oder Polystyrol in Verbindung mit einem schweren Putzsystem einen positiven Einfluss auf den Schallschutz besitzen.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für „min“ und „max“ quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Ma 1.1

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

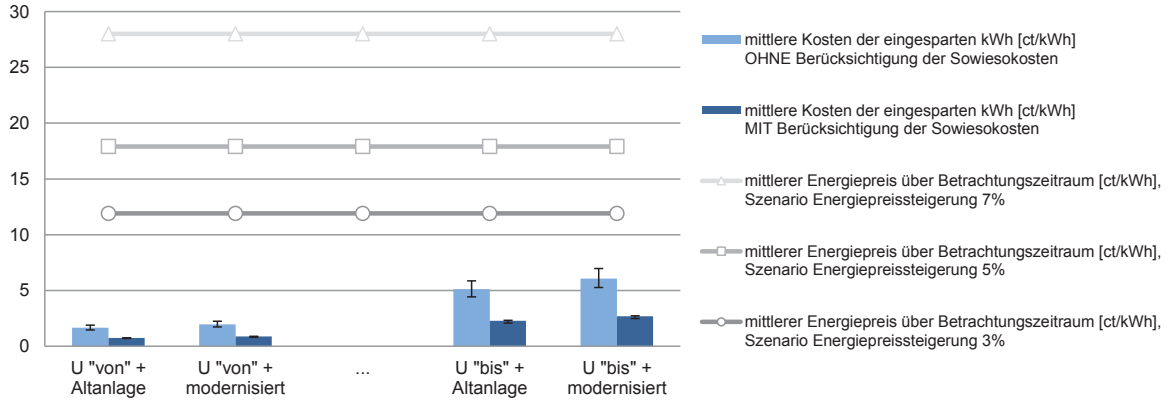
Maßnahme
- **WDVS**
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			12			0		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe			45			0		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: WDVS (Mineralwolle)			55			55		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			-			-		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**82**	**62**	**42**	**39**	**28**	**17**	€/m²	Fassade

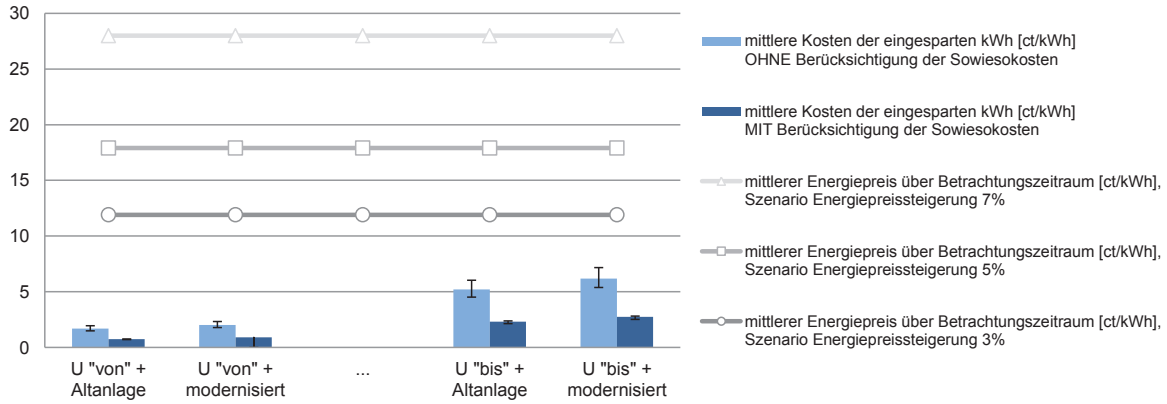
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	wie IST	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**175,6**	**27%**	**147,9**	**27%**	**56,5**	**16%**	**47,6**	**16%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	103,4	15%	87,1	15%	33,3	9%	28,1	9%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	262,4	41%	220,9	41%	86,1	24%	72,5	24%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**170,3**	**15%**	**88,3**	**15%**	**33,4**	**9%**	**28,2**	**9%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	100,1	14%	84,3	14%	32,4	8%	27,3	8%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	255,2	37%	214,9	37%	84,3	21%	71,0	21%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**1,6**	**0,7**	**1,9**	**0,9**	**5,1**	**2,3**	**6,1**	**2,7**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	1,9	0,7	2,2	0,9	5,9	2,3	7,0	2,7	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	1,5	0,7	1,7	0,8	4,4	2,1	5,3	2,5	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**1,7**	**0,7**	**2,2**	**0,9**	**5,8**	**2,3**	**6,9**	**2,7**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	2,0	0,8	2,3	0,9	6,0	2,4	7,2	2,8	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	1,5	0,7	1,8	0,8	4,5	2,1	5,4	2,5	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

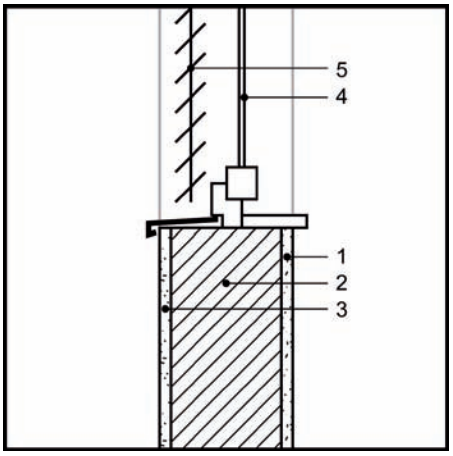


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

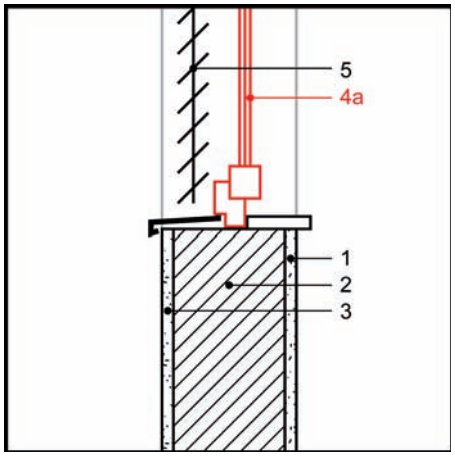
alt **Massivbauweise, einschalig, Lochfassade, ungedämmt, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**

AW-Ma 1.2 / 1.3



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Innenputz, Bestand
2 tragende Massivwand (Mauerwerk, Beton)
3 Außenputz, Bestand
4 Fenster
4a Fenster, Wärmedämmglas (neu)
5 Sonnenschutz, Bestand

System

Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

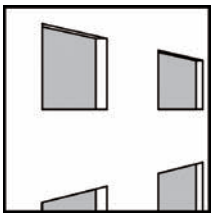
Sondergläser stellen nach Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 Schallschutzglas mit einem bewerteten Schalldämmmaß des Glases von $R_{w,R}$ > 40 dB, Sonderaufbauten zur Durchschuss-, Durchbruch- oder Sprengwirkungshemmung sowie Sonderaufbauten als Brandschutzglas dar.

Vorteile

Von besonderem energetischem und wirtschaftlichem Interesse für einen Austausch sind Fenster mit Einfachglas, die nach Einschätzungen des VFF noch einen Bestand von insgesamt etwa 25 Millionen Fenstereinheiten ausmachen. Neben der Einsparung von Heizenergie können bei sachgemäßer Ausführung Wärmebrücken reduziert sowie die Luftdichtheit verbessert werden. Bei Fassaden mit einem hohen Transparenzanteil kann durch die Reduzierung des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases (z.B. Sonnenschutzglas g = 0,35) der sommerliche Wärmeeintrag in den Innenraum verringert werden.

Besonderheiten

Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Viele der im Gebäudebestand vorhandenen Fenster können jedoch die heutigen Anforderungen nicht mehr erfüllen. Alte Fenster sind häufig undicht, wodurch der Luftaustausch mit der Außenluft unkontrolliert erfolgt. Im Winter geht dadurch eine erhebliche Menge an Heizenergie verloren. Durch den entstehenden Luftzug und niedrige Oberflächentemperaturen entsteht häufig ein Gefühl der Unbehaglichkeit und Zugerscheinungen im Innenraum. Auch ein mangelnder Schallschutz kann eine Ursache für eine notwendige Fenstersanierung sein. Eine Fenstersanierung erzeugt neben der Verbesserung dieser Aspekte auch eine weitgehende Luftdichtigkeit der Anschlussdetails, wodurch die Lüftungswärmeverluste zu reduziert werden.



Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas: U_w = 5,0 W/(m²K)
U_g = 5,8 W/(m²K)
g = 0,87

Zweifachglas: U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
U_g = 2,9 W/(m²K)
g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009

U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch: U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas: U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert

U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Lochfassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Soll das bestehende Fenster oder das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes, erhalten bleiben oder besitzt es historische, gut erhaltene Fenster, kann der Wärmschutz der Fenster durch das Anbringen eines zusätzlichen Glases von Innen verbessert werden. Bei dieser Konstruktionsart wird ein Einfachfenster nachträglich zum Kastenfenster aufgewertet. Das innere Fenster übernimmt primär die Wärme- und Schallschutzfunktion, während das alte, äußere Glas dem Witterungsschutz dient und die Optik erhalten bleibt. Es ist zudem der Einbau moderner Fenster als historische Nachbildung möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 stellt Mindestanforderungen an Fenster in bestehenden Gebäuden, falls diese ausgetauscht oder ersetzt werden. Der U_W-Wert der Fenster darf einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C betragen. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten keine Anforderungen. Die Anforderungen gelten jedoch nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme des vorgeschriebenen Glases ungeeignet ist. Wird ausschließlich das Glas eines Fensters ausgetauscht und ist die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahme aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn ein Glas mit einem U_g-Wert ≤ 1,3 W/(m²K) eingebaut wird. Darüber hinaus gelten spezielle Anforderungen bei Sondergläsern. Hier gilt ein maximaler U_W-Wert von 2,0 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Temperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 2{,}8$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Die Anforderungen gelten nicht bei Schaufenstern und Türanlagen aus Glas.

Wärmebrücken

Um Wärmebrücken zu reduzieren, kann fallspezifisch entschieden werden, bei einem Austausch das Fenster bündig zur Fassade zu setzen. Bei einer späteren Dämmmaßnahme können auf diese Weise die Wärmebrücken in den Fensterlaibungen und darüber hinaus die starke Zunahme der Laibungstiefen und somit die Entstehung von sogenannten „Schießscharten“ vermieden werden. Wird das Fenster nicht versetzt, ist bei der späteren Anbringung eines WDV-Systems auf die ausreichende Dämmung der Fensterlaibung zu achten.

Feuchteschutz

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anforderungen nach EnEV an die Fugendurchlässigkeit sind zu berücksichtigen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für „min“ und „max“ quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

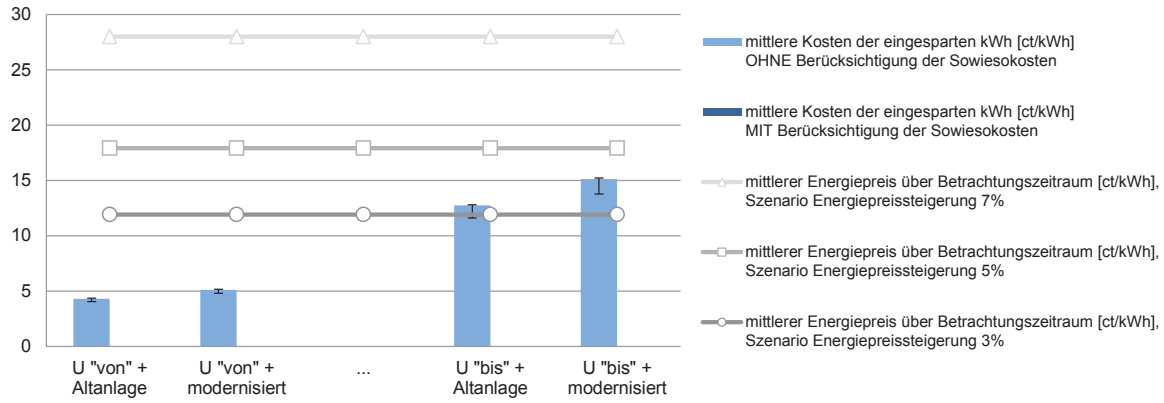
AW-Ma 1.2

mittlere Baukosten		ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			-			-		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**145**	**242**	**339**	**0**	**0**	**0**	€/m²	Fassade

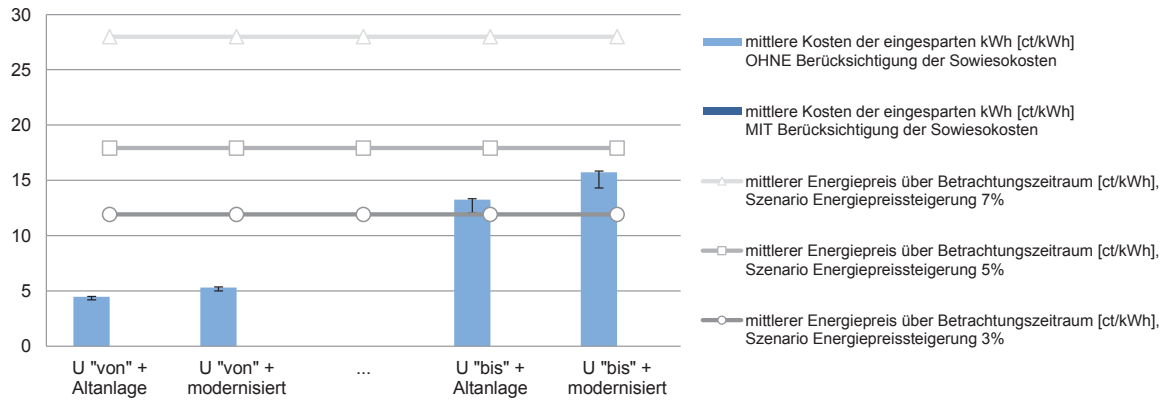
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**261,5**	**41%**	**220,2**	**41%**	**88,2**	**25%**	**74,3**	**25%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	157,6	26%	132,7	26%	52,9	16%	44,6	16%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	385,9	52%	325,0	52%	135,2	32%	113,9	32%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**251,9**	**53%**	**304,9**	**53%**	**122,9**	**33%**	**103,5**	**33%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	151,3	24%	127,4	24%	50,6	13%	42,6	13%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	372,4	48%	313,6	48%	130,7	28%	110,0	28%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0**	**5,1**	**0**	12,7	**0**	15,1	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,3	0	5,1	0	12,8	0	15,1	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0	4,8	0	11,6	0	13,8	0	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0**	**5,2**	**0**	12,8	**0**	15,2	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,5	0	5,3	0	13,3	0	15,8	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0	5,0	0	12,0	0	14,3	0	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Ma 1.3

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

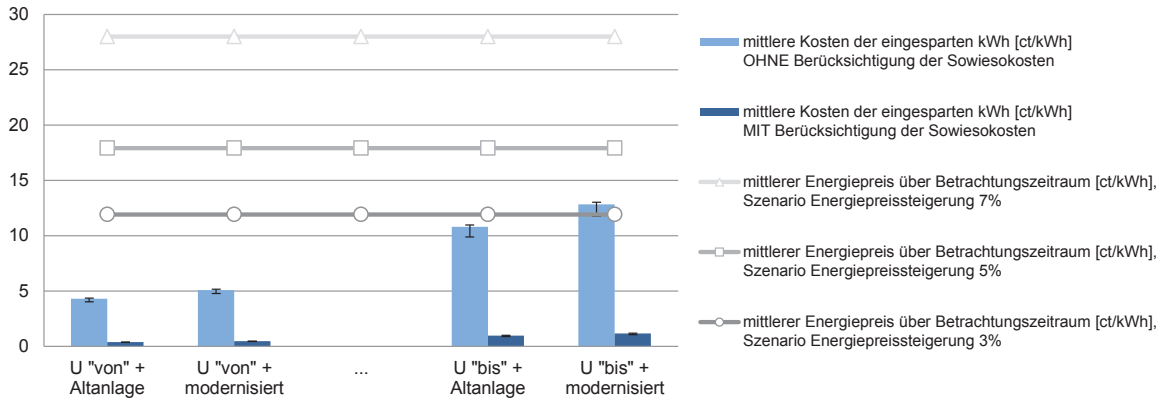
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten			**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**160**	**266**	**372**	**14**	**24**	**34**	€/m²	Fassade

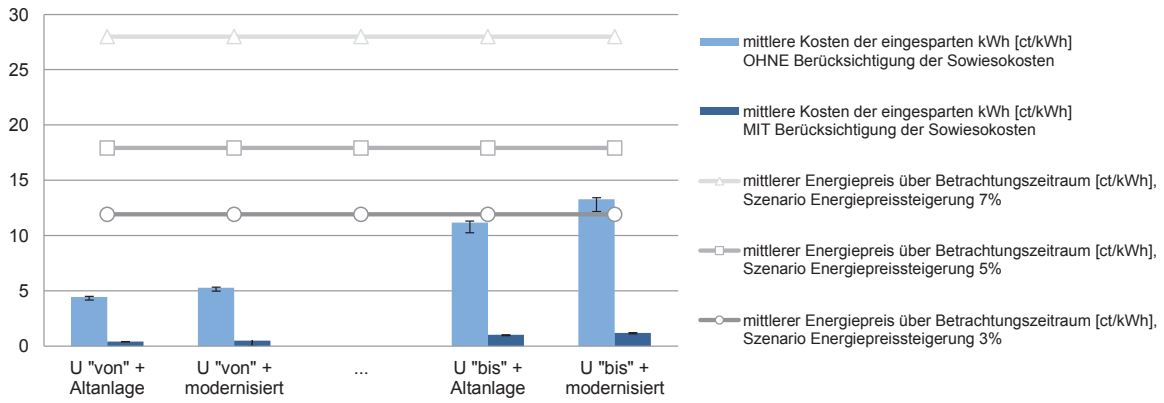
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**288,7**	**45%**	**243,1**	**45%**	**114,4**	**32%**	**96,3**	**32%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	174,5	29%	146,9	29%	69,2	21%	58,3	21%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	424,2	57%	357,3	57%	172,5	41%	145,3	41%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**278,5**	**58%**	**335,2**	**58%**	**157,8**	**42%**	**132,9**	**42%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	167,8	26%	141,3	26%	66,6	18%	56,1	18%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	409,8	53%	345,1	53%	167,3	36%	140,9	36%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0,4**	**5,1**	**0,5**	**10,8**	**1,0**	**12,8**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,2	0,4	5,0	0,5	10,7	1,0	12,7	1,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0,4	4,8	0,4	10,0	0,9	11,9	1,1	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,4**	**0,4**	**5,2**	**0,5**	**11,0**	**1,0**	**13,0**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,4	0,4	5,2	0,5	11,1	1,0	13,2	1,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0,4	5,0	0,5	10,3	0,9	12,3	1,1	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



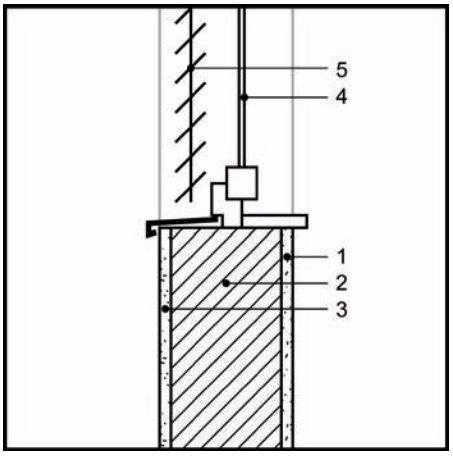
Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

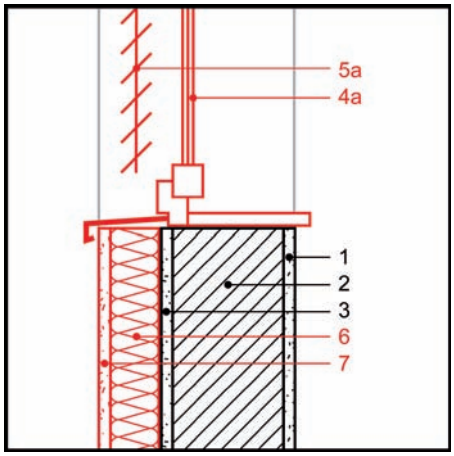
AW-Ma 1.4 / 1.5

alt **Massivbauweise, einschalig, Lochfassade, ungedämmt, Einfach- o. Isolierglas**



Ausgangssituation

neu **WDVS und Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**



Sanierungsmaßnahme

1	Innenputz, Bestand
2	tragende Massivwand (Mauerwerk, Beton)
3	Außenputz, Bestand
4	Fenster
4a	Fenster, Wärmedämmglas (neu)
5	Sonnenschutz, Bestand
5a	Sonnenschutz (neu)
6	Wärmedämmung (neu)
7	Armierungsgewebe, Systemputz (neu)

System

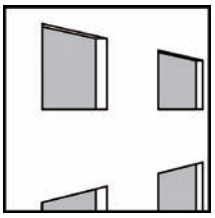
Ein WDV-System besteht aus mehreren Schichten. Dabei wird der Dämmstoff entweder vollflächig oder im Randwulst-Punkt-Verfahren mit Kleber oder mit Mörtel auf der bestehenden Wand verklebt um eine Hinterströmung mit Außenluft zu vermeiden. Bei der Verwendung von Faserplatten als Dämmmaterial oder bei nicht genügend tragfähigem Untergrund ist eine zusätzliche Verdübelung der Dämmung erforderlich. Die Anzahl der notwendigen Dübel und die jeweilige Verankerungstiefe richten sich nach dem vorhandenen Untergrund und werden vom Systemhersteller angegeben. Treten bei der Fassade starke Unebenheiten auf, werden Schienensysteme oder Spezialbefestigungen eingesetzt. Auf die Dämmung wird ein Unterputz mit Armierungsgewebe aufgebracht, der die Rissbildung durch thermische Spannungen verhindert. Nachdem der Armierungsputz abgebunden und trocken ist, erfolgt die Aufbringung einer Deckschicht (z.B. Putz, Riemchen o.ä.), die je nach Farbe oder Körnung die spätere Optik bestimmt. Es dürfen nur komplette, bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme verwendet werden.

Zusätzlich erfolgt in Kombination der Fensteraustausch. Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

Vorteile

Die außenliegende Dämmung durch ein WDV-System schützt den Wandaufbau vor thermischen Belastungen, wie starker Aufheizung oder Abkühlung sowie andere äußere Schichten auch vor Schlagregenbeanspruchung. Daraus resultiert ein dauerhaft spannungs- und rissfreier Wandaufbau. Ein Wärmedämmverbundsystem stellt sich bei sorgfältiger Umsetzung als bauphysikalisch unbedenkliche Konstruktion dar. Auch bestehende Wärmebrücken können bei sachgemäßer Ausführung deutlich reduziert werden. Die Speichermasse der Wand bleibt erhalten, wodurch das sommerliche Raumklima positiv beeinflusst wird. Der gleichzeitige Austausch der Fenster besitzt den Vorteil die Durchführung der einzelnen Gewerke besser aufeinander abstimmen zu können, insbesondere die Anschlusspunkte zwischen Fenster und Dämmebene.

Die Fenster können bei dieser Kombination mit einem relativ geringen Aufwand zur Dämmebene versetzt werden. Weitere Aufwendungen wie etwa Gerüststellung und Baustelleneinrichtung treten nur einmalig auf und machen das Vorhaben somit kosten-



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 1,4 - 1,0 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,24 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas:	U_w = 5,0 W/(m²K)
	U_g = 5,8 W/(m²K)
	g = 0,87
Zweifachglas:	U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
	U_g = 2,9 W/(m²K)
	g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009
U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch:	U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas:	U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
	U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert
U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Lochfassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

günstiger. Ein weiterer Vorteil besteht in der guten Möglichkeit zur Integration eines Beschattungssystems. Außerdem kann bei einer Kombination der Maßnahmen der Durchführungszeitraum reduziert werden, da parallel verschiedene Gewerke gleichzeitig arbeiten. Somit kann die Nutzungsbeeinträchtigung, die in dieser Zeit durch Baulärm und ähnliche Störquellen entsteht, möglichst gering gehalten werden.

Besonderheiten

Eine außenseitige Dämmung der Außenwand bietet sich dann an, wenn ohnehin Maßnahmen zur Erneuerung des Putzes oder des Anstriches anstehen. Die durch die energetische Aufwertung verursachten Zusatzkosten fallen bei umfassenden Instandsetzungsmaßnahmen weniger stark ins Gewicht. Durch den zusätzlichen Fensteraustausch können Anschlussdetails fachgerecht ausgeführt und Wärmebrücken reduziert werden. Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Das nachträgliche Anbringen einer Beschattung ist bei dieser Kombination einfach zu realisieren.

Winterlicher Wärmeschutz

Wird bei einer Außenwand eine Dämmung von außen angebracht, fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 den U-Wert der Wand mit U ≤ 0,24 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie U ≤ 0,35 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Für den Fensteraustausch gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der U_W-Wert der Fenster einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie U_W ≤ 1,9 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C nicht überschreitet, wenn das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird oder zusätzliche Vor- oder Innenfenster eingebaut werden. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, sofern die Stärke des Rahmenmaterials dies zulässt. Bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten hier keine Anforderungen. In Sonderfällen gelten weitere Anforderungen, die entweder der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 oder der Beschreibung der Einzelmaßnahme Fensteraustausch zu entnehmen sind.

Wärmebrücken

Bei der Maßnahmenkombination WDVS und Fensteraustausch ergibt sich der Vorteil, dass Wärmebrücken reduziert werden können, indem eine abgestimmte Gesamtplanung im Vorfeld vorgenommen wird. Denn es ist in der Regel wärmetechnisch sinnvoll, den Blendrahmen mit dem Wärmedämmverbundsystem zu überdecken. Wird das Fenster beim Austausch nicht versetzt, ist es notwendig, die Dämmebene an den Anschlussstellen nicht unterbrechen zu lassen. Bei unbeheizten Kellern sollte die Außenwand 50 cm über die Kellerdeckeneinbindung nach unten hin gedämmt werden. Auf die Einhaltung des Spritzwasserbereichs am Boden von mindestens 30 cm ist zu achten.

Feuchteschutz

Für bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme ist ein rechnerischer Nachweis zur Tauwasserbildung nach DIN 4108-3 nicht erforderlich. Durch die außenseitige Dämmschicht wird die Temperatur im Wandquerschnitt und somit auch an der inneren Bauteiloberfläche erhöht, wodurch bei fachgerechter Planung das Risiko des Tauwasserausfalls und die Gefahr von Schimmelbildung reduziert werden.

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Ein WDV-System bildet nicht zwangsläufig eine luftdichte Schicht, was auf die Anschlüsse an andere Bauteile, wie z.B. Fensterrahmen, aber auch auf systembedingte Fugen an den Plattenstößen zurückzuführen ist. Die luftdichte Schicht wird z.B. durch eine intakte Innentragstruktur (z.B. Innenputz) gebildet. Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anschlussproblematik zwischen Fenster und Wandbereich gestaltet sich im Regelfall bei der Kombination der Maßnahmen einfacher als bei zeitlich versetzter Durchführung der Einzelmaßnahmen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Die Anbringung eines WDV-Systems wirkt sich, neben der Verbesserung des winterlichen Wärmschutzes, bei richtigem Nutzerverhalten in der Regel auch positiv auf die sommerlichen Raumtemperaturen aus, da sich durch den erhöhten Wärmedurchlasswiderstand der ertüchtigten Konstruktion die Außenwände durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmen. Des Weiteren nimmt ein von außen angebrachtes WDV-System keinen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Außenwände und die Nutzung.

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Die schallschutztechnische Qualität eines Wärmedämmverbundsystems hängt stark vom verwendeten System und Material ab. Die dynamische Steifigkeit des verwendeten Dämmstoffes und die flächenbezogene Masse des Putzes sind einflussnehmende Faktoren. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass WDV-Systeme mit Dämmplatten aus Mineralfasern oder Polystyrol in Verbindung mit einem schweren Putzsystem einen positiven Einfluss auf den Schallschutz besitzen.

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten seiner Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems. Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für „min“ und „max“ quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

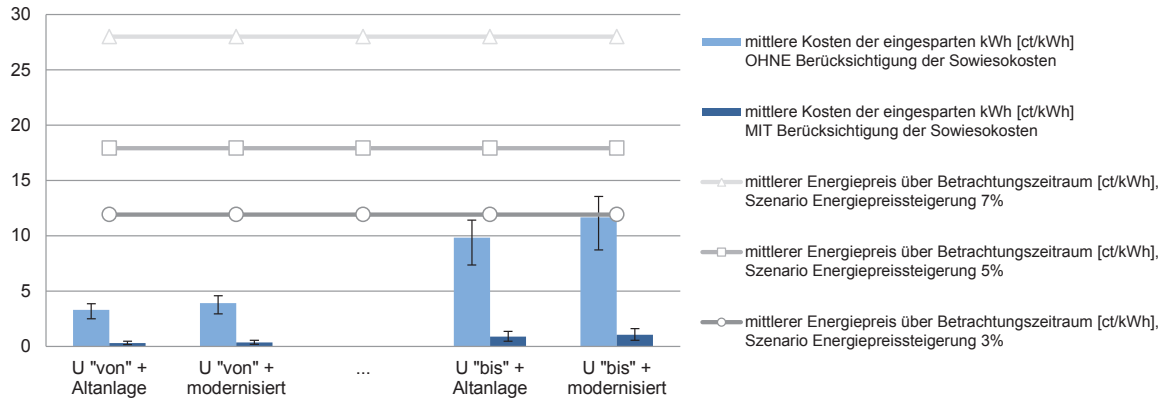
AW-Ma 1.4

mittlere Baukosten		ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			12			0		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe			45			0		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: WDVS (Mineralwolle)			55			55		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**227**	**304**	**381**	**39**	**28**	**17**	€/m²	Fassade

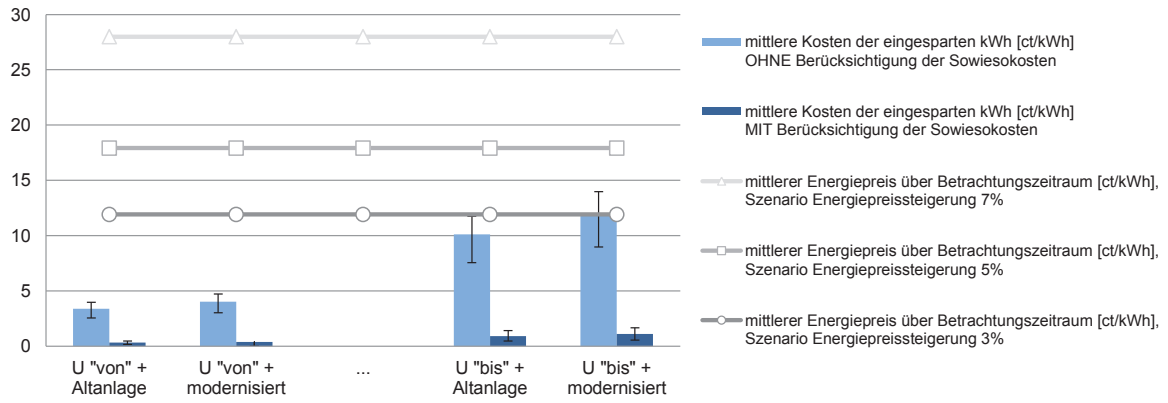
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**429,9**	**67%**	**362,0**	**67%**	**143,8**	**41%**	**121,1**	**41%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	397,0	67%	334,3	67%	131,8	40%	111,0	40%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	492,2	66%	414,5	66%	170,5	40%	143,6	40%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**417,2**	**67%**	**387,2**	**67%**	**155,3**	**41%**	**130,8**	**41%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	385,2	60%	324,4	60%	128,1	34%	107,9	34%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	476,8	61%	401,5	61%	165,4	35%	139,3	35%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,3**	**0,3**	**3,9**	**0,4**	**9,8**	**0,9**	**11,7**	**1,1**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,7	0,5	3,2	0,5	8,0	1,4	9,5	1,6	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,6	0,2	4,3	0,2	10,4	0,4	12,3	0,5	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,4**	**0,2**	**4,6**	**0,2**	**11,4**	**0,5**	**13,5**	**0,6**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,7	0,5	3,3	0,6	8,2	1,4	9,8	1,7	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,7	0,2	4,4	0,2	10,7	0,5	12,7	0,6	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- **WDVS**
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Ma 1.5

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

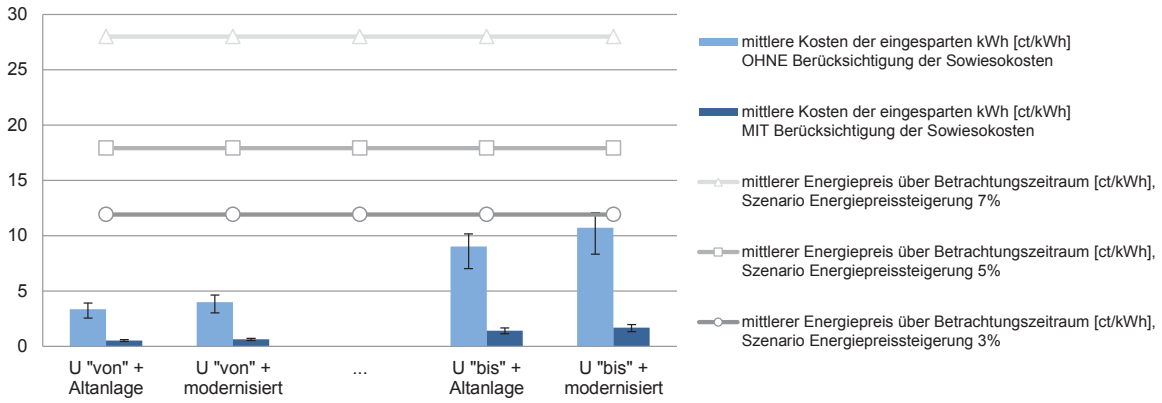
Maßnahme
- **WDVS**
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten	**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst	12			0			€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe	45			0			€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: WDVS (Mineralwolle)	55			55			€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -	-			-			€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch	532			48			€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz	226			0			€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe je nach Fensterflächenanteil	**242**	**328**	**414**	**53**	**51**	**50**	€/m²	Fassade

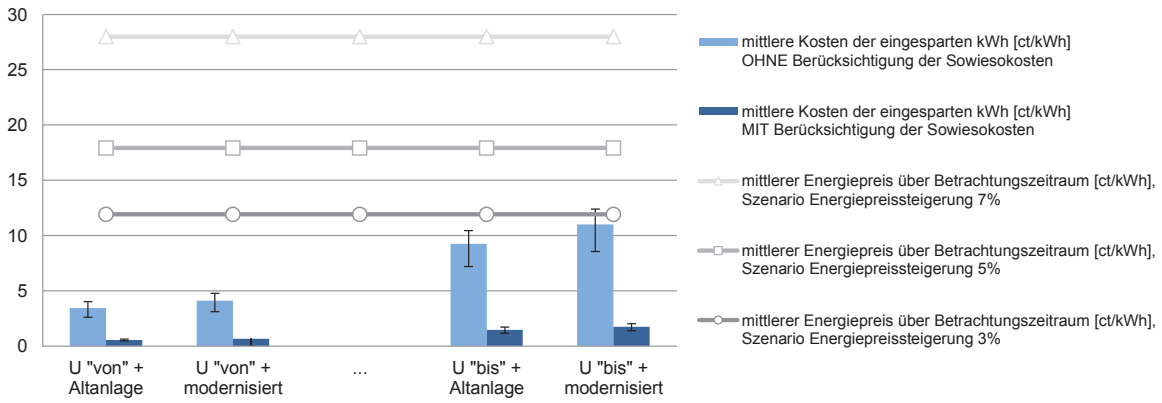
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**455,1**	**71%**	**383,2**	**71%**	**169,0**	**48%**	**142,3**	**48%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	413,0	70%	347,8	70%	147,8	45%	124,5	45%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	529,0	71%	445,5	71%	207,3	49%	174,6	49%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**442,2**	**72%**	**416,0**	**72%**	**189,4**	**50%**	**159,5**	**50%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	401,2	63%	337,9	63%	144,2	38%	121,4	38%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	513,0	66%	432,0	66%	201,7	43%	169,8	43%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,3**	**0,5**	**4,0**	**0,6**	**9,0**	**1,4**	**10,7**	**1,7**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,7	0,6	3,2	0,7	7,6	1,7	9,0	2,0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,6	0,4	4,3	0,5	9,3	1,1	11,0	1,3	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,4**	**0,5**	**4,6**	**0,6**	**10,2**	**1,2**	**12,1**	**1,5**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,8	0,6	3,3	0,7	7,8	1,7	9,2	2,0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,8	0,5	4,5	0,5	9,5	1,2	11,3	1,4	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

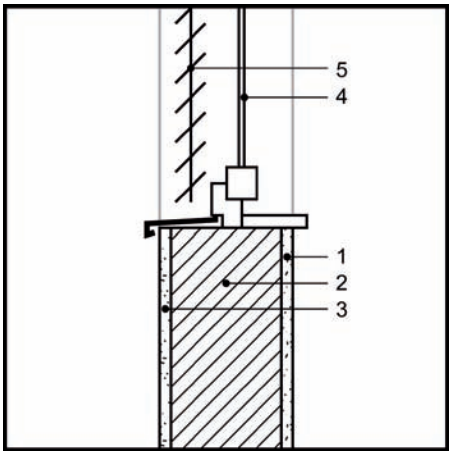


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

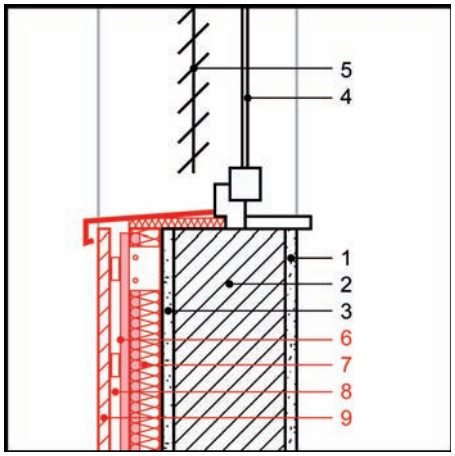
alt **Massivbauweise, einschalig, Lochfassade, ungedämmt, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Vorgehängte, hinterlüftete Fassade (VHF)**

AW-Ma 2.1



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Innenputz, Bestand
2 tragende Massivwand (Mauerwerk, Beton)
3 Außenputz, Bestand
4 Fenster
5 Sonnenschutz, Bestand
6 Unterkonstruktion (neu)
7 Wärmedämmung (neu)
8 Traglattung (neu)
9 Bekleidung (neu)

System

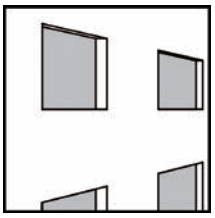
Vorgehängte, hinterlüftete Fassadensysteme lassen sich in der Regel in die Komponenten Dämmstoff, Unterkonstruktion und Bekleidung unterteilen. Auf die Außenwand wird mit Hilfe einer Unterkonstruktion, die i.d.R. aus Holz oder Metall besteht, eine Wärmedämmschicht aus Matten- oder weichen Plattendämmstoffen aufgebracht. Durch die Unterkonstruktion können kleinere Unebenheiten in der Wandfläche einfach ausgeglichen und optische Schäden verdeckt werden. Auf der Wärmedämmung wird, je nach verwendeten Dämmstoffen, von außen eine diffusionsoffene Fassadenbahn angeordnet. Einige Hersteller bieten Dämmplatten an, deren außenseitige Oberfläche bereits winddicht und wasserabweisend ist. Die Konstruktion wird durch die hinterlüftete vorgehängte Bekleidung, die an der Unterkonstruktion mechanisch befestigt ist, vor Niederschlag geschützt. Als Bekleidungsmaterial ist eine Vielzahl von Materialien (z.B. Holz, Plattenwerkstoffe, Metall, Putzbeschichtungen) geeignet.

Vorteile

Die außenliegende Dämmung durch eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade schützt den Wandaufbau vor thermischen Belastungen wie starker Aufheizung oder Abkühlung. Außenwände mit hinterlüfteter Bekleidung gelten als besonders schlagregensicher und erfüllen damit auch die Bedingungen für Anwendungen in Schlagregenbeanspruchungsgruppe III. Bestehende Wärmebrücken können bei sachgemäßer Ausführung deutlich reduziert werden. Durch die Anbringung der Dämmung von außen wird die Nutzung während der Sanierung nur im geringen Maße beeinträchtigt. Die Speichermasse der Wand bleibt erhalten, wodurch das sommerliche Raumklima positiv beeinflusst wird. In Bezug auf die architektonische Qualität wird es durch die Anbringung einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade möglich, die Fassade optisch neu zu gestalten.

Besonderheiten

Eine außenseitige Dämmung der Außenwand bietet sich dann an, wenn ohnehin Maßnahmen zur Erneuerung des Putzes oder des Anstriches anstehen. Eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade ist nur bei großen zusammenhängenden Fassadenflächen zu empfehlen, da die Ausbildung vieler aufwendiger Detailpunkte (z.B. bei Vorsprüngen) die Maßnahme aufwendig machen kann. Nur von wenigen Herstellern werden Komplettsysteme für vorgehängte, hinterlüftete Fassadensysteme angeboten. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, zunächst die gewünschte Oberflächengestaltung zu definieren und anschließend die Unterkonstruktion darauf abzustimmen.



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 1,4 - 1,0 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,24 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Lochfassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

Es ist ein statischer Nachweis zum Lastabtrag von der Deckschicht über die Unterkonstruktion und die Verbindungselemente in die eigentliche Tragschale zu erbringen, denn aufgrund der vielen unterschiedlichen Systemkombinationen ist eine pauschalisierte Nachweisführung nicht möglich. Der Nachweis wird in der Regel durch darauf spezialisierte Fachbüros oder den Hersteller selbst erbracht.

Winterlicher Wärmeschutz

Werden bei einer Außenwand Bekleidungen von außen angebracht, fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 einen U-Wert der Wand von U ≤ 0,24 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie U ≤ 0,35 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Für vorgehängte hinterlüftete Fassaden dürfen nur genormte oder bauaufsichtlich zugelassene Dämmstoffe eingesetzt werden. Geeignete Dämmstoffe sind vorwiegend in Materialstärken zwischen 60 - 200 mm mit Wärmeleitfähigkeiten zwischen 0,024- 0,45 W/(mK) erhältlich. Durch Einsatz von Vakuumdämmpaneelen von ca. 4 cm Dicke lassen sich bei minimalem zusätzlichem Aufbau U-Werte von 0,18 - 0,19 W/(m²K) erreichen. Allerdings übersteigen die Kosten für eine Vakuumdämmung deutlich die konventioneller Dämmstoffe.

Wärmebrücken

Wärmetechnische Unregelmäßigkeiten im Aufbau der tragenden Wand durch z.B. Betonteile werden durch die Wärmedämmung einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade in ihrer Wärmebrückenwirkung deutlich reduziert. Wesentliche Bedeutung kommt der Ausbildung der Wandhalterungen zu, denn die hier entstehenden Wärmebrücken reduzieren die wärmeschutztechnische Wirkung der Dämmschicht. Daher empfiehlt es sich, die Unterkonstruktion aus einem Material mit geringer Wärmeleitfähigkeit sowie in zwei gegeneinander versetzten Ebenen auszuführen. Eine thermische Entkoppelung der Unterkonstruktion von der Wand verringert ebenfalls die Wärmebrückenwirkung. Um Wärmeverluste an den Anschlussstellen an andere Bauteile (Dach, Fenster, etc.) zu vermeiden, sollte die Wärmedämmebene an diesen Stellen nicht unterbrochen werden. Bei unbeheizten Kellern sollte die Außenwand 50 cm über die Kellerdeckeneinbindung nach unten hin gedämmt werden. Auf die Einhaltung des Spritzwasserbereichs am Boden von mindestens 30 cm ist zu achten.

Feuchteschutz

Durch die außenseitige Dämmschicht wird die Temperatur im Wandquerschnitt und somit auch an der inneren Bauteiloberfläche erhöht, wodurch bei ordnungsgemäßer Ausführung das Risiko des Tauwasserausfalls reduziert wird. Das Trocknungsverhalten der Wand wird darüber hinaus durch die Hinterlüftung positiv beeinflusst, sodass eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade auch bei durchfeuchteten Wänden als Maßnahme angewandt werden kann. Ein feuchtetechnischer Nachweis nach DIN 4108-3 ist nicht erforderlich, wenn eine ausreichende Hinterlüftung (d = 20 mm) mit Be- und Entlüftungsöffnungen von mindestens 50 cm² pro 1 m Wandlänge gewährleistet ist. Die Luftschicht dient der Abführung von Feuchtigkeit sowie evtl. eingedrungenem Niederschlag.

Luftdichtheit

Eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade bildet nicht zwangsläufig eine luftdichte Schicht, was auf die Anschlüsse an andere Bauteile, wie z.B. Fensterrahmen, aber auch auf systembedingte Fugen an den Plattenstößen zurückzuführen ist. Die luftdichte Schicht wird z.B. durch eine intakte Innentragstruktur (z.B. Innenputz) gebildet.

Sommerlicher Wärmeschutz

Die Anbringung einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade wirkt sich, neben der Verbesserung des winterlichen Wärmschutzes, bei richtigem Nutzerverhalten in der Regel auch positiv auf die sommerlichen Raumtemperaturen aus, da sich durch den erhöhten Wärmedurchlasswiderstand der ertüchtigten Konstruktion die Außenwände durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmen. Des Weiteren nimmt das von außen angebrachte System keinen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Außenwände und die Nutzung. Voraussetzung für akzeptable Innenraumtemperaturen ist in jedem Fall das

Vorhandensein eines Sonnenschutzes für die transparenten Bauteilflächen.

Schallschutz

Durch den Einsatz einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade kann der Luftschallschutz spürbar verbessert werden, da eine Fassadenverkleidung vor einer massiven Außenwand aus akustischer Sicht eine zweischalige Konstruktion darstellt und die Schalldämmung in der Regel positiv beeinflusst. Generell wirken sich Dämmstoffe mit geringer dynamischer Steifigkeit (z.B. Mineralwolle) positiv aus. Die Verbesserung ist abhängig vom vorhandenen Material, der Dämmstoffdicke und der Fassadenkonstruktion.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Ma 2.1

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

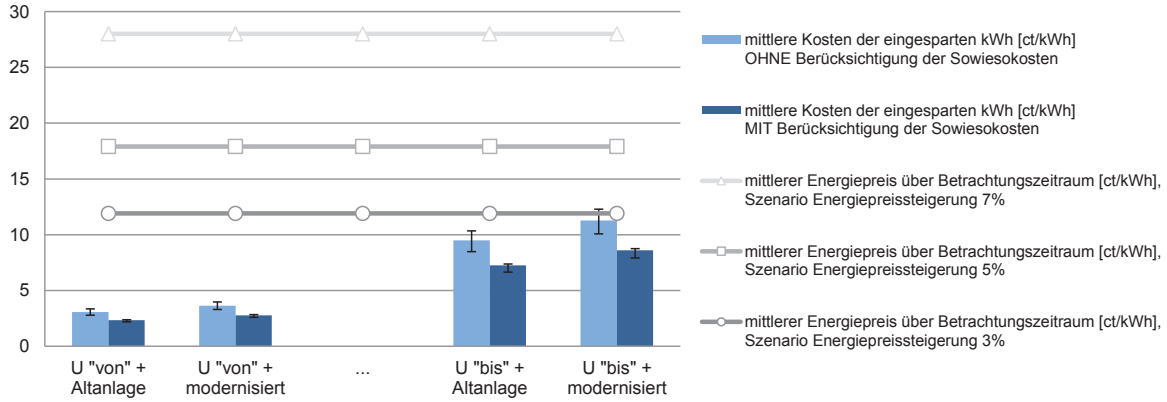
Maßnahme
- WDVS
- **vorgehängte Fassade**
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			12			0		€/m²	Fassade
Unterkonstruktion, Bekleidung			31			0		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: vorgehängte hinterlüftete Fassa			176			176		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			-			-		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**157**	**116**	**74**	**123**	**88**	**53**	€/m²	Fassade

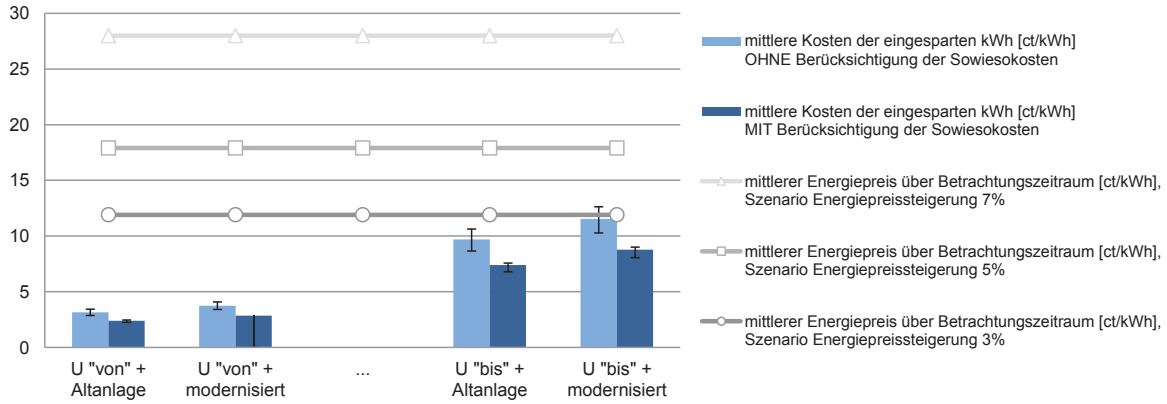
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	wie IST	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**175,6**	**27%**	**147,9**	**27%**	**56,5**	**16%**	**47,6**	**16%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	103,4	15%	87,1	15%	33,3	9%	28,1	9%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	262,4	41%	220,9	41%	86,1	24%	72,5	24%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**170,3**	**15%**	**88,3**	**15%**	**33,4**	**9%**	**28,2**	**9%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	100,1	14%	84,3	14%	32,4	8%	27,3	8%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	255,2	37%	214,9	37%	84,3	21%	71,0	21%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,1**	**2,3**	**3,6**	**2,8**	**9,5**	**7,2**	**11,3**	**8,6**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	3,3	2,4	4,0	2,8	10,3	7,4	12,3	8,7	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	2,8	2,2	3,3	2,6	8,5	6,7	10,1	7,9	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,2**	**2,3**	**3,9**	**2,8**	**10,3**	**7,3**	**12,2**	**8,7**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	3,4	2,5	4,1	2,9	10,6	7,6	12,6	9,0	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	2,9	2,2	3,4	2,7	8,7	6,8	10,3	8,1	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

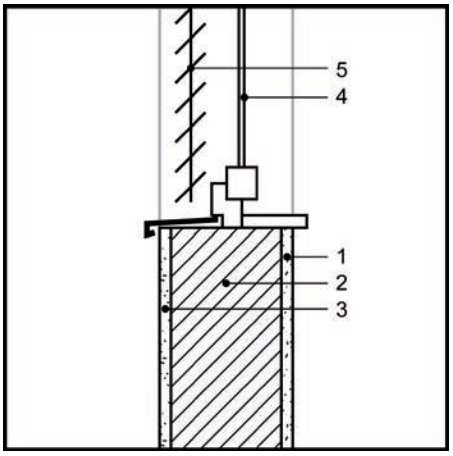


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

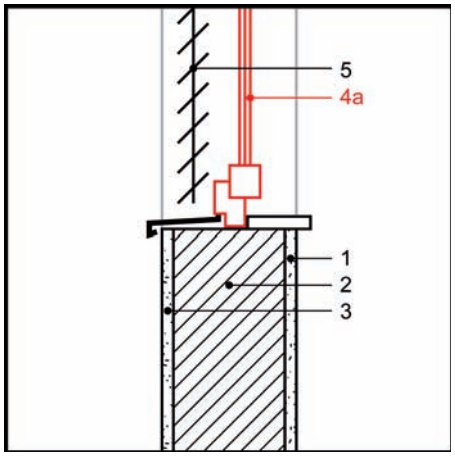
alt **Massivbauweise, einschalig, Lochfassade, ungedämmt, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**

AW-Ma 2.2 / 2.3



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Innenputz, Bestand
2 tragende Massivwand (Mauerwerk, Beton)
3 Außenputz, Bestand
4 Fenster
4a Fenster, Wärmedämmglas (neu)
5 Sonnenschutz, Bestand

System

Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

Sondergläser stellen nach Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 Schallschutzglas mit einem bewerteten Schalldämmmaß des Glases von $R_{w,R}$ > 40 dB, Sonderaufbauten zur Durchschuss-, Durchbruch- oder Sprengwirkungshemmung sowie Sonderaufbauten als Brandschutzglas dar.

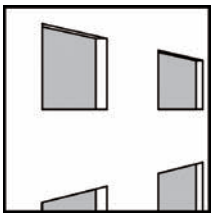
Vorteile

Von besonderem energetischem und wirtschaftlichem Interesse für einen Austausch sind Fenster mit Einfachglas, die nach Einschätzungen des VFF noch einen Bestand von insgesamt etwa 25 Millionen Fenstereinheiten ausmachen. Neben der Einsparung von Heizenergie können bei sachgemäßer Ausführung Wärmebrücken reduziert sowie die Luftdichtheit verbessert werden. Bei Fassaden mit einem hohen Transparenzanteil kann durch die Reduzierung des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases (z.B. Sonnenschutzglas g = 0,35) der sommerliche Wärmeeintrag in den Innenraum verringert werden.

Besonderheiten

Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Viele der im Gebäudebestand vorhandenen Fenster können jedoch die heutigen Anforderungen nicht mehr erfüllen. Alte Fenster sind häufig undicht, wodurch der Luftaustausch mit der Außenluft unkontrolliert erfolgt. Im Winter geht dadurch eine erhebliche Menge an Heizenergie verloren. Durch den entstehenden Luftzug und niedrige Oberflächentemperaturen entsteht häufig ein Gefühl der Unbehaglichkeit und Zugerscheinungen im Innenraum. Auch ein mangelnder Schallschutz kann eine Ursache für eine notwendige Fenstersanierung sein. Eine Fenstersanierung erzeugt neben der Verbesserung dieser Aspekte auch eine weitgehende Luftdichtigkeit der Anschlussdetails, wodurch die Lüftungswärmeverluste zu reduziert werden.

Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von



Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas:	U_w = 5,0 W/(m²K) U_g = 5,8 W/(m²K) g = 0,87
Zweifachglas:	U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K) U_g = 2,9 W/(m²K) g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009

U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch:	U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas:	U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C) U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert

U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Lochfassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Soll das bestehende Fenster oder das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes, erhalten bleiben oder besitzt es historische, gut erhaltene Fenster, kann der Wärmschutz der Fenster durch das Anbringen eines zusätzlichen Glases von Innen verbessert werden. Bei dieser Konstruktionsart wird ein Einfachfenster nachträglich zum Kastenfenster aufgewertet. Das innere Fenster übernimmt primär die Wärme- und Schallschutzfunktion, während das alte, äußere Glas dem Witterungsschutz dient und die Optik erhalten bleibt. Es ist zudem der Einbau moderner Fenster als historische Nachbildung möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 stellt Mindestanforderungen an Fenster in bestehenden Gebäuden, falls diese ausgetauscht oder ersetzt werden. Der U_W-Wert der Fenster darf einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C betragen. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten keine Anforderungen. Die Anforderungen gelten jedoch nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme des vorgeschriebenen Glases ungeeignet ist. Wird ausschließlich das Glas eines Fensters ausgetauscht und ist die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahme aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn ein Glas mit einem U_g-Wert ≤ 1,3 W/(m²K) eingebaut wird. Darüber hinaus gelten spezielle Anforderungen bei Sondergläsern. Hier gilt ein maximaler U_W-Wert von 2,0 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Temperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 2{,}8$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Die Anforderungen gelten nicht bei Schaufenstern und Türanlagen aus Glas.

Wärmebrücken

Um Wärmebrücken zu reduzieren, kann fallspezifisch entschieden werden, bei einem Austausch das Fenster bündig zur Fassade zu setzen. Bei einer späteren Dämmmaßnahme können auf diese Weise die Wärmebrücken in den Fensterlaibungen und darüber hinaus die starke Zunahme der Laibungstiefen und somit die Entstehung von sogenannten „Schießscharten“ vermieden werden. Wird das Fenster nicht versetzt, ist bei der späteren Anbringung eines WDV-Systems auf die ausreichende Dämmung der Fensterlaibung zu achten.

Feuchteschutz

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anforderungen nach EnEV an die Fugendurchlässigkeit sind zu berücksichtigen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren,

kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

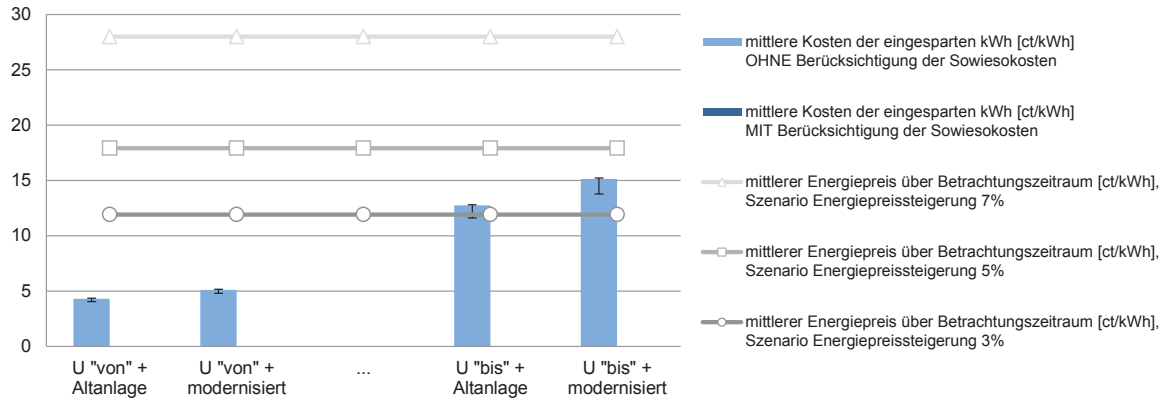
AW-Ma 2.2

mittlere Baukosten		ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			-			-		€/m²	Fassade
Unterkonstruktion, Bekleidung			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**145**	**242**	**339**	**0**	**0**	**0**	€/m²	Fassade

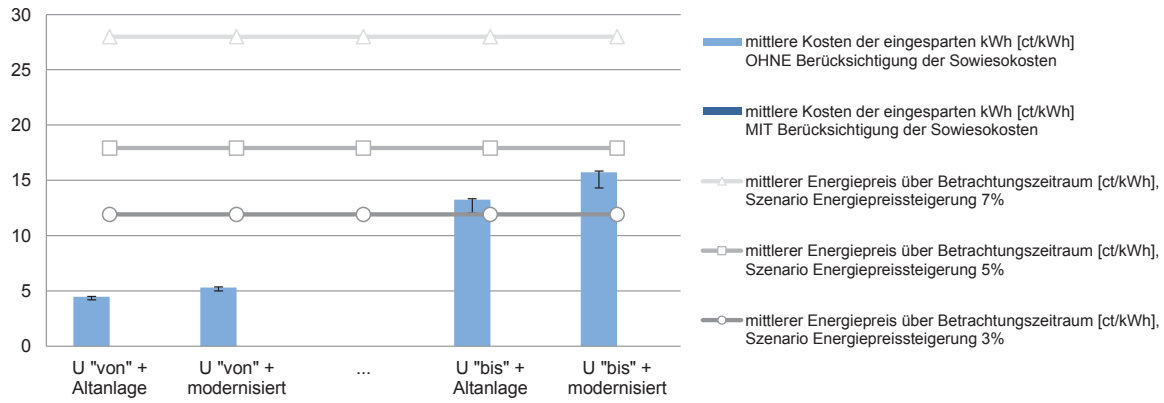
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**261,5**	**41%**	**220,2**	**41%**	**88,2**	**25%**	**74,3**	**25%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	157,6	26%	132,7	26%	52,9	16%	44,6	16%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	385,9	52%	325,0	52%	135,2	32%	113,9	32%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**251,9**	**53%**	**304,9**	**53%**	**122,9**	**33%**	**103,5**	**33%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	151,3	24%	127,4	24%	50,6	13%	42,6	13%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	372,4	48%	313,6	48%	130,7	28%	110,0	28%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0**	**5,1**	**0**	12,7	**0**	15,1	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,3	0	5,1	0	12,8	0	15,1	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0	4,8	0	11,6	0	13,8	0	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0**	**5,2**	**0**	12,8	**0**	15,2	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,5	0	5,3	0	13,3	0	15,8	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0	5,0	0	12,0	0	14,3	0	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Ma 2.3

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

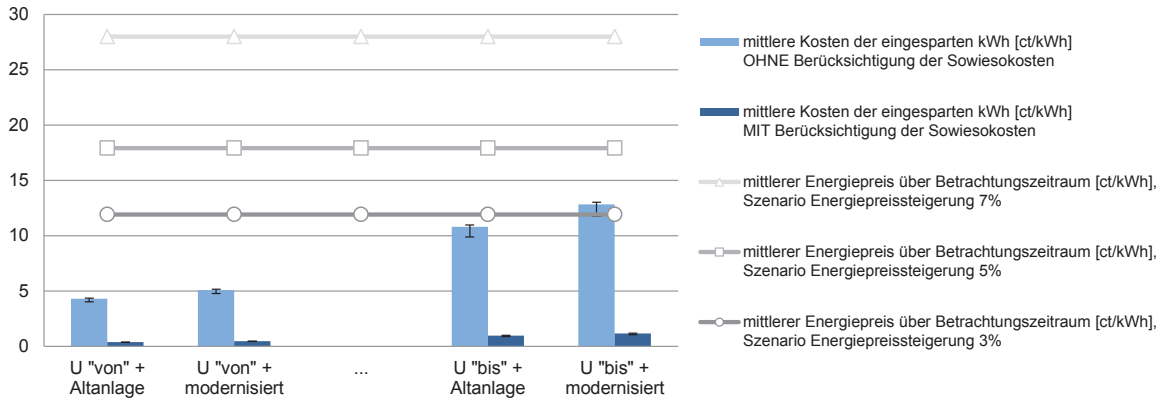
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten			**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Unterkonstruktion, Bekleidung				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**160**	**266**	**372**	**14**	**24**	**34**	€/m²	Fassade

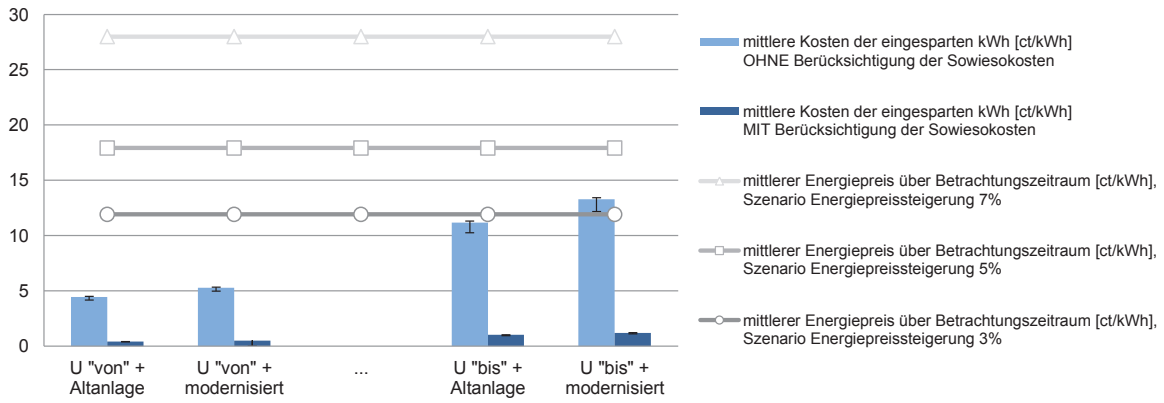
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**288,7**	**45%**	**243,1**	**45%**	**114,4**	**32%**	**96,3**	**32%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	174,5	29%	146,9	29%	69,2	21%	58,3	21%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	424,2	57%	357,3	57%	172,5	41%	145,3	41%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**278,5**	**58%**	**335,2**	**58%**	**157,8**	**42%**	**132,9**	**42%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	167,8	26%	141,3	26%	66,6	18%	56,1	18%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	409,8	53%	345,1	53%	167,3	36%	140,9	36%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0,4**	**5,1**	**0,5**	**10,8**	**1,0**	**12,8**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,2	0,4	5,0	0,5	10,7	1,0	12,7	1,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0,4	4,8	0,4	10,0	0,9	11,9	1,1	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,4**	**0,4**	**5,2**	**0,5**	**11,0**	**1,0**	**13,0**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,4	0,4	5,2	0,5	11,1	1,0	13,2	1,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0,4	5,0	0,5	10,3	0,9	12,3	1,1	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

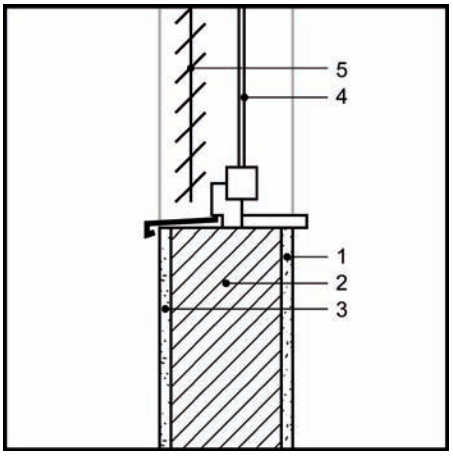


Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



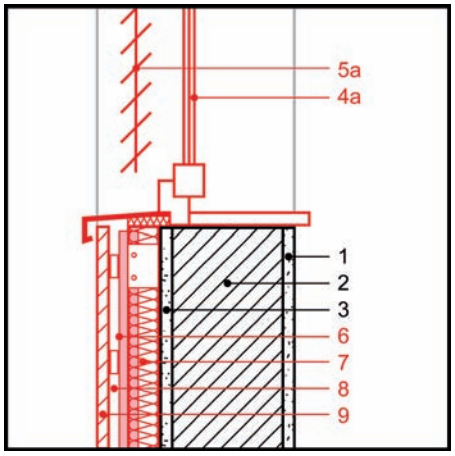
Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

alt **Massivbauweise, einschalig, Lochfassade, ungedämmt, Einfach- o. Isolierglas**



Ausgangssituation

neu **VHF und Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**



Sanierungsmaßnahme

AW-Ma 2.4 / 2.5

1	Innenputz, Bestand
2	tragende Massivwand (Mauerwerk, Beton)
3	Außenputz, Bestand
4	Fenster
4a	Fenster, Wärmedämmglas (neu)
5	Sonnenschutz, Bestand
5a	Sonnenschutz (neu)
6	Unterkonstruktion (neu)
7	Wärmedämmung (neu)
8	Traglattung (neu)
9	Bekleidung (neu)

System

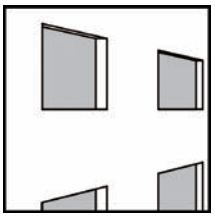
Vorgehängte, hinterlüftete Fassadensysteme lassen sich in der Regel in die Komponenten Dämmstoff, Unterkonstruktion und Bekleidung unterteilen. Auf die Außenwand wird mit Hilfe einer Unterkonstruktion, die i.d.R. aus Holz oder Metall besteht, eine Wärmedämmschicht aus Matten- oder weichen Plattendämmstoffen aufgebracht. Durch die Unterkonstruktion können kleinere Unebenheiten in der Wandfläche einfach ausgeglichen und optische Schäden verdeckt werden. Auf der Wärmedämmung wird, je nach verwendeten Dämmstoffen, von außen eine diffusionsoffene Fassadenbahn angeordnet. Einige Hersteller bieten Dämmplatten an, deren außenseitige Oberfläche bereits winddicht und wasserabweisend ist. Die Konstruktion wird durch die hinterlüftete vorgehängte Bekleidung, die an der Unterkonstruktion mechanisch befestigt ist, vor Niederschlag geschützt. Als Bekleidungsmaterial ist eine Vielzahl von Materialien (z.B. Holz, Plattenwerkstoffe, Metall, Putzbeschichtungen) geeignet.

Zusätzlich erfolgt in Kombination der Fensteraustausch. Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

Vorteile

Die außenliegende Dämmung durch eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade schützt den Wandaufbau vor thermischen Belastungen wie starker Aufheizung oder Abkühlung. Außenwände mit hinterlüfteter Bekleidung gelten als besonders schlagregensicher und erfüllen damit auch die Bedingungen für Anwendungen in Schlagregenbeanspruchungsgruppe III. Bestehende Wärmebrücken können bei sachgemäßer Ausführung deutlich reduziert werden. Durch die Anbringung der Dämmung von außen wird die Nutzung während der Sanierung nur im geringen Maße beeinträchtigt. Die Speichermasse der Wand bleibt erhalten, wodurch das sommerliche Raumklima positiv beeinflusst wird. In Bezug auf die architektonische Qualität wird es durch die Anbringung einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade möglich, die Fassade optisch neu zu gestalten. Der gleichzeitige Austausch der Fenster besitzt den Vorteil die Durchführung der einzelnen Gewerke besser aufeinander abstimmen zu können, insbesondere die Anschlusspunkte zwischen Fenster und Dämmebene.

Die Fenster können bei dieser Kombination mit einem relativ geringen Aufwand zur Dämmebene versetzt werden. Weitere Aufwendungen wie etwa Gerüststellung und



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 1,4 - 1,0 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,24 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas:	U_w = 5,0 W/(m²K)
	U_g = 5,8 W/(m²K)
	g = 0,87
Zweifachglas:	U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
	U_g = 2,9 W/(m²K)
	g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009
U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch:	U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas:	U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
	U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert
U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Lochfassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

Baustelleneinrichtung treten nur einmalig auf und machen das Vorhaben somit kostengünstiger. Ein weiterer Vorteil besteht in der guten Möglichkeit zur Integration eines Beschattungssystems. Außerdem kann bei einer Kombination der Maßnahmen der Durchführungszeitraum reduziert werden, da parallel verschiedene Gewerke gleichzeitig arbeiten. Somit kann die Nutzungsbeeinträchtigung, die in dieser Zeit durch Baulärm und ähnliche Störquellen entsteht, möglichst gering gehalten werden.

Besonderheiten

Eine außenseitige Dämmung der Außenwand bietet sich dann an, wenn ohnehin Maßnahmen zur Erneuerung des Putzes oder des Anstriches anstehen. Eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade ist nur bei großen zusammenhängenden Fassadenflächen zu empfehlen, da die Ausbildung vieler aufwendiger Detailpunkte (z.B. bei Vorsprüngen) die Maßnahme aufwendig machen kann. Nur von wenigen Herstellern werden Komplettsysteme für vorgehängte, hinterlüftete Fassadensysteme angeboten. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, zunächst die gewünschte Oberflächengestaltung zu definieren und anschließend die Unterkonstruktion darauf abzustimmen. Es ist ein statischer Nachweis zum Lastabtrag von der Deckschicht über die Unterkonstruktion und die Verbindungselemente in die eigentliche Tragschale zu erbringen, denn aufgrund der vielen unterschiedlichen Systemkombinationen ist eine pauschalisierte Nachweisführung nicht möglich. Der Nachweis wird in der Regel durch darauf spezialisierte Fachbüros oder den Hersteller selbst erbracht.

Durch den zusätzlichen Fensteraustausch können Anschlussdetails fachgerecht ausgeführt und Wärmebrücken reduziert werden. Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Das nachträgliche Anbringen einer Beschattung ist bei dieser Kombination einfach zu realisieren.

Winterlicher Wärmeschutz

Wird bei einer Außenwand eine Dämmung von außen angebracht, fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 den U-Wert der Wand mit $U \leq 0{,}24$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U \leq 0{,}35$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Für den Fensteraustausch gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der U_W-Wert der Fenster einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C nicht überschreitet, wenn das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird oder zusätzliche Vor- oder Innenfenster eingebaut werden. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, sofern die Stärke des Rahmenmaterials dies zulässt. Bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten hier keine Anforderungen. In Sonderfällen gelten weitere Anforderungen, die entweder der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 oder der Beschreibung der Einzelmaßnahme Fensteraustausch zu entnehmen sind.

Wärmebrücken

Bei der Maßnahmenkombination vorgehängte, hinterlüftete Fassade und Fensteraustausch ergibt sich der Vorteil, dass Wärmebrücken reduziert werden können, indem eine abgestimmte Gesamtplanung im Vorfeld vorgenommen wird. Denn es ist in der Regel wärmetechnisch sinnvoll, das Fenster bündig zur Fassade zu setzen. Auf diese Weise werden Wärmebrücken in den Fensterlaibungen und darüber hinaus die starke Zunahme der Laibungstiefen und somit die Entstehung von sogenannten „Schießscharten“ vermieden. Wird das Fenster beim Austausch nicht versetzt, ist es notwendig, die Dämmebene an den Anschlussstellen nicht unterbrechen zu lassen.

Bei unbeheizten Kellern sollte die Außenwand 50 cm über die Kellerdeckeneinbindung nach unten hin gedämmt werden. Auf die Einhaltung des Spritzwasserbereichs am Boden von mindestens 30 cm ist zu achten. Wesentliche Bedeutung kommt der Ausbildung der Wandhalterungen für die vorgehängte, hinterlüftete Fassade zu, denn die hier entstehenden Wärmebrücken reduzieren die wärmeschutztechnische Wirkung der Dämmschicht. Daher empfiehlt es sich, die Unterkonstruktion aus einem Material mit geringer Wärmeleitfähigkeit sowie in zwei gegeneinander versetzten Ebenen auszuführen. Eine thermische Entkoppelung der Unterkonstruktion von der Wand verringert ebenfalls die Wärmebrückenwirkung.

Feuchteschutz

Durch die außenseitige Dämmschicht wird die Temperatur im Wandquerschnitt und somit auch an der inneren Bauteiloberfläche erhöht, wodurch bei ordnungsgemäßer Ausführung das Risiko des Tauwasserausfalls reduziert wird. Das Trocknungsverhalten der Wand wird darüber hinaus durch die Hinterlüftung positiv beeinflusst, sodass eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade auch bei durchfeuchteten Wänden als Maßnahme angewandt werden kann. Ein feuchtetechnischer Nachweis nach DIN 4108-3 ist nicht erforderlich, wenn eine ausreichende Hinterlüftung (d = 20 mm) mit Be- und Entlüftungsöffnungen von mindestens 50 cm² pro 1 m Wandlänge gewährleistet ist. Die Luftschicht dient der Abführung von Feuchtigkeit sowie evtl. eingedrungenem Niederschlag.

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade bildet nicht zwangsläufig eine luftdichte Schicht, was auf die Anschlüsse an andere Bauteile, wie z.B. Fensterrahmen, aber auch auf systembedingte Fugen an den Plattenstößen zurückzuführen ist. Die luftdichte Schicht wird z.B. durch eine intakte Innentragstruktur (z.B. Innenputz) gebildet.

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anschlussproblematik zwischen Fenster und Wandbereich gestaltet sich im Regelfall bei der Kombination der Maßnahmen einfacher als bei zeitlich versetzter Durchführung der Einzelmaßnahmen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Die Anbringung einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade wirkt sich, neben der Verbesserung des winterlichen Wärmschutzes, bei richtigem Nutzerverhalten in der Regel auch positiv auf die sommerlichen Raumtemperaturen aus, da sich durch den erhöhten Wärmedurchlasswiderstand der ertüchtigten Konstruktion die Außenwände durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmen. Des Weiteren nimmt das von außen angebrachte System keinen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Außenwände und die Nutzung.

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Durch den Einsatz einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade kann der Luftschallschutz spürbar verbessert werden, da eine Fassadenverkleidung vor einer massiven Außenwand aus akustischer Sicht eine zweischalige Konstruktion darstellt und die Schalldämmung in der Regel positiv beeinflusst. Generell wirken sich Dämmstoffe mit geringer dynamischer Steifigkeit (z.B. Mineralwolle) positiv aus. Die Verbesserung ist abhängig vom vorhandenen Material, der Dämmstoffdicke und der Fassadenkonstruktion.

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems. Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

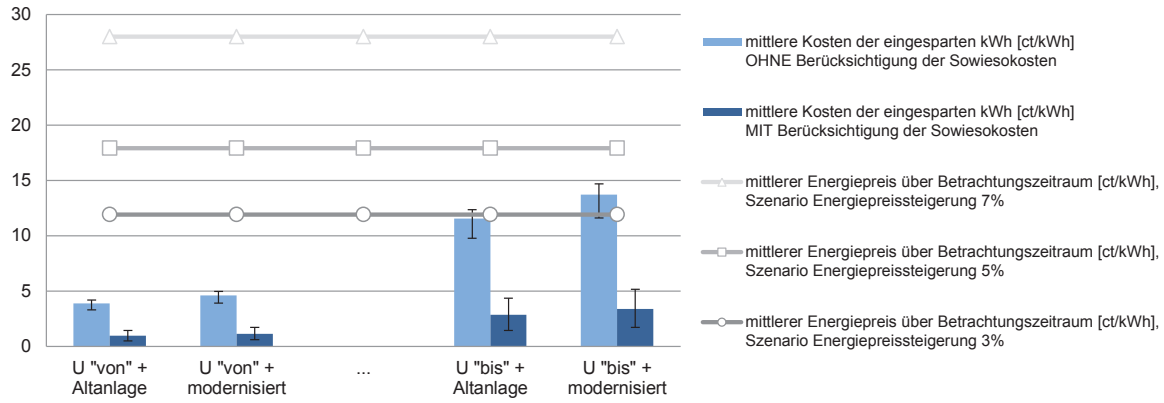
AW-Ma 2.4

mittlere Baukosten		ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			12			0		€/m²	Fassade
Unterkonstruktion, Bekleidung			31			0		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: vorgehängte hinterlüftete Fassa			176			176		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**302**	**358**	**413**	**123**	**88**	**53**	€/m²	Fassade

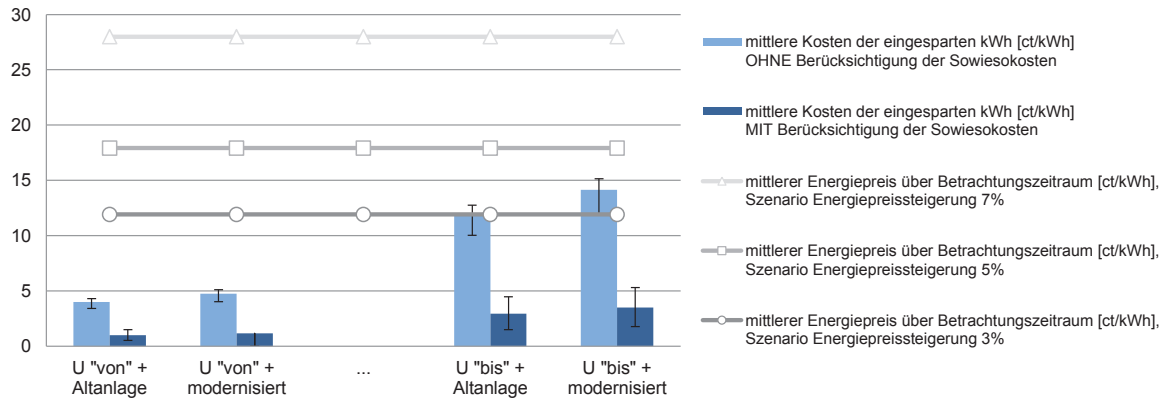
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**429,9**	**67%**	**362,0**	**67%**	**143,8**	**41%**	**121,1**	**41%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	397,0	67%	334,3	67%	131,8	40%	111,0	40%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	492,2	66%	414,5	66%	170,5	40%	143,6	40%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**417,2**	**67%**	**387,2**	**67%**	**155,3**	**41%**	**130,8**	**41%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	385,2	60%	324,4	60%	128,1	34%	107,9	34%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	476,8	61%	401,5	61%	165,4	35%	139,3	35%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,9**	**1,0**	**4,6**	**1,1**	**11,6**	**2,8**	**13,7**	**3,4**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,5	1,4	4,2	1,7	10,7	4,3	12,7	5,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,9	0,5	4,6	0,6	11,3	1,4	13,4	1,7	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,0**	**0,5**	**5,0**	**0,6**	**12,4**	**1,6**	**14,7**	**1,9**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,6	1,5	4,3	1,8	11,0	4,5	13,0	5,3	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,0	0,5	4,8	0,6	11,6	1,5	13,8	1,8	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- WDVS
- **vorgehängte Fassade**
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Ma 2.5

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

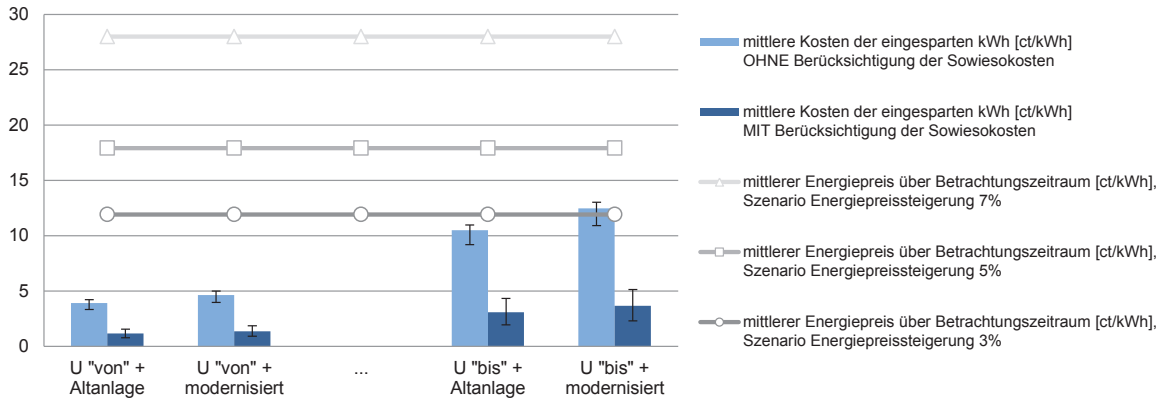
Maßnahme
- WDVS
- **vorgehängte Fassade**
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten			**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			12			0			€/m²	Fassade
Unterkonstruktion, Bekleidung			31			0			€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: vorgehängte hinterlüftete Fassa			176			176			€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-			€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			532			48			€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0			€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**316**	**381**	**446**	**138**	**112**	**86**	€/m²	Fassade

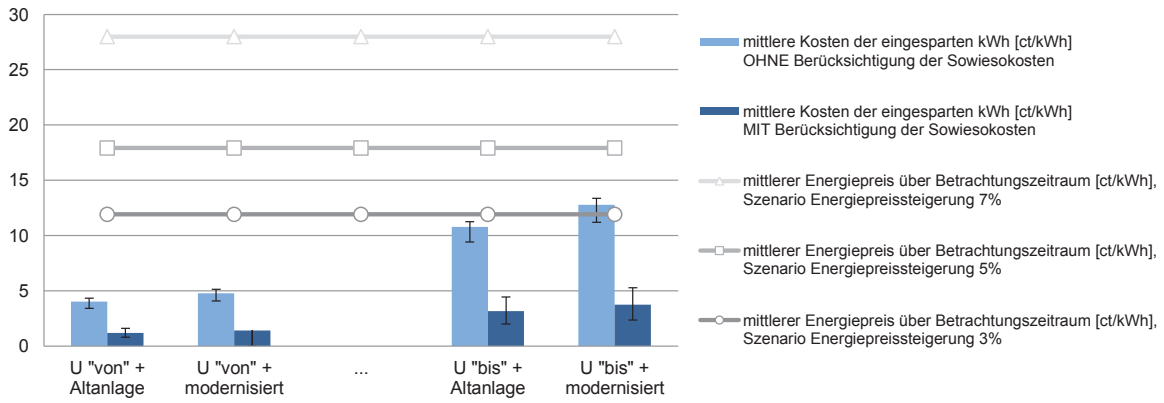
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**455,1**	**71%**	**383,2**	**71%**	**169,0**	**48%**	**142,3**	**48%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	413,0	70%	347,8	70%	147,8	45%	124,5	45%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	529,0	71%	445,5	71%	207,3	49%	174,6	49%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**442,2**	**72%**	**416,0**	**72%**	**189,4**	**50%**	**159,5**	**50%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	401,2	63%	337,9	63%	144,2	38%	121,4	38%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	513,0	66%	432,0	66%	201,7	43%	169,8	43%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,9**	**1,1**	**4,6**	**1,4**	**10,5**	**3,1**	**12,5**	**3,7**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,6	1,5	4,2	1,8	9,9	4,3	11,8	5,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,9	0,8	4,7	0,9	10,0	1,9	11,9	2,3	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,0**	**0,8**	**5,0**	**1,0**	**11,0**	**2,1**	**13,0**	**2,5**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,7	1,6	4,4	1,9	10,2	4,4	12,1	5,3	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,0	0,8	4,8	0,9	10,3	2,0	12,2	2,4	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

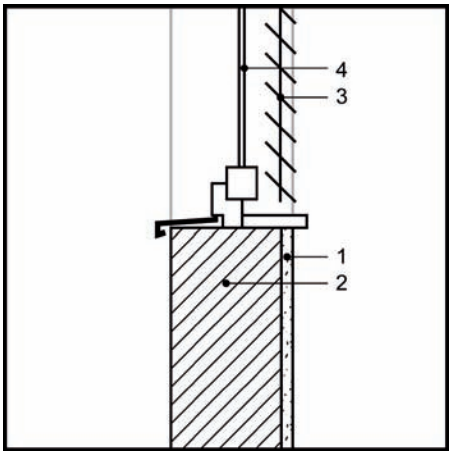


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

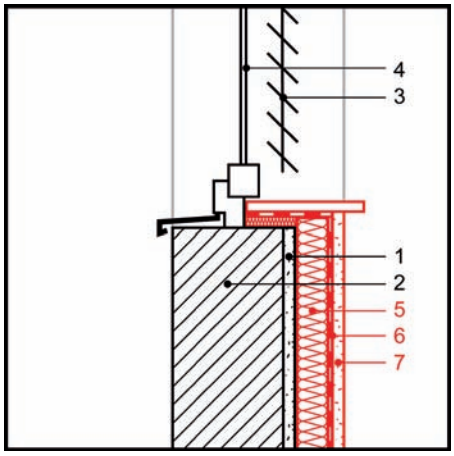
alt **Massivbauweise, einschalig, Lochfassade, ungedämmt, erhaltenswert, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Innendämmung**

AW-Ma 3.1



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Innenputz, Bestand
2 tragende Massivwand (Mauerwerk, Beton)
3 Sonnenschutz, Bestand
4 Fenster
5 Wärmedämmung (neu)
6 Dampfbremse bzw. -sperre (neu)
7 Innenputz (neu)

System

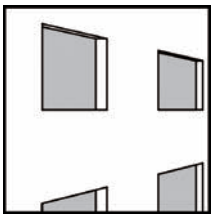
Innendämmungen bestehen in der Regel aus einer Dämmschicht, ggf. einer eingebetteten Tragstruktur, je nach Dämmstoff ggf. mit einer diffusionshemmenden oder -dichten Schicht und einer Deckschicht. Auf der Innenseite der Außenwand werden Dämmplatten vollflächig aufgeklebt oder gedübelt, Hohlräume in der Dämmschicht sind zu vermeiden. Der Untergrund muss entsprechend dem verwendeten System ausreichend eben sein, ggf. muss mit Ausgleichsschichten nachgebessert werden. Je nach Wahl des Dämmstoffes ist entsprechend eine (feuchteadaptive) Dampfbremse raumseitig der Dämmung anzuordnen (Angaben des Systemherstellers beachten!). Bei Verwendung feuchteunempfindlicher oder kapillaraktiver Dämmstoffe (z.B. Kalziumsilikatplatten) wird keine Dampfbremse angeordnet. Bei der Ausführung muss jedoch darauf geachtet werden, dass das Plattenmaterial bündig/kraftschlüssig mit der Bestandskonstruktion angebracht wird, um eine Hinterströmung mit Raumluft zu vermeiden und den Feuchttransport über die Konstruktion auch nach außen zu ermöglichen. Produktabhängig kann die Dämmung entweder direkt verputzt werden (Verbundelement mit integrierter Dampfbremse) oder es wird eine selbsttragende Vorsatzschale auf einer Unterkonstruktion aufgebracht, in der ggf. Installationen geführt werden können. Alternativ kann der Konstruktionsaufbau durch den Einsatz von Vakuumdämmung (VIP) mit einem sehr hohen Wärmedurchlasswiderstand deutlich reduziert werden. Allerdings liegen die Kosten hierfür deutlich über denen konventioneller Dämmstoffe. Zudem sind Nutzungsspezifika zu berücksichtigen, da die VIP durch Dekorationsmaßnahmen (Bildaufhänger, Regale, etc.) beschädigt und ihrer Funktionsweise beeinträchtigt werden können. Dies gilt teilweise auch für die anderen Dämmsysteme bzw. -stoffe, hier sind die Angaben des Systemherstellers unbedingt zu beachten.

Vorteile

Bei einer Dämmmaßnahme von innen bleibt das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes erhalten. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn Fassaden erhaltenswert bzw. stadtbildprägend sind oder unter Denkmalschutz stehen. Die Anbringung einer Innendämmung ist witterungsunabhängig, es ist in der Regel kein Gerüst erforderlich. Darüber hinaus kann die Maßnahme raumweise durchgeführt werden, wodurch die Möglichkeit besteht, bei einer detaillierten Vorplanung interne Nutzungsabläufe nur geringfügig zu stören.

Besonderheiten

Besonders ältere Gebäude sind häufig erhaltenswert, ihre Fassaden sind stadtbildprägend oder sie stehen ganzheitlich unter Denkmalschutz. Diese Fassaden weisen oftmals einen schlechten Wärmeschutz auf und besitzen teilweise aufwendige Verzierungen, die das Erscheinungsbild des Gebäudes maßgebend prägen. Häufig bleibt bei solchen Gebäuden nur die Möglichkeit zur Dämmung von innen. Eine Dämmmaß-



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 1,4 - 1,0 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,35 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Lochfassade erhaltenswert.

nahme von innen kann jedoch auch in anderen Bereichen sinnvoll sein, beispielsweise wenn aus rechtlichen Gründen (z.B. Abstandsflächen, Besitzverhältnisse) die Anbringung einer Außendämmung nicht möglich ist. Darüber hinaus ist sie für den nachträglichen Ausbau von Kellerräumen gut geeignet oder in Gebäuden, in denen aufgrund kurzer Nutzungszeiten ein schnelles Aufheizverhalten der Innenräume wünschenswert ist (z.B. Versammlungsräume).

Innendämmungen reduzieren den Wärmedurchgang durch die Gebäudehülle nicht im gleichen Maß, wie es bei Außendämmungen der Fall ist, da üblicherweise geringere Dämmstärken eingesetzt werden und die Verluste über Wärmebrücken von einbindenden Bauteilen überproportional zunehmen können. Durch Innendämmung sinkt insgesamt die Temperatur innerhalb der Massivwand. Daher sind in diesem Bereich geführte Installationsleitungen von Heizung und Wasser einer Frostgefahr ausgesetzt und es müssen entsprechend vorbeugende Maßnahmen (z.B. nachträgliche Dämmung wenn möglich, Verlegung) getroffen werden. Darüber hinaus ist zu beachten, dass sich die Raumfläche reduziert. Außerdem ist eine Befestigung von Bauteilen, z.B. Regalen, erschwert oder wegen der Durchdringung der Dämmschichten ggf. sogar unzulässig.

Winterlicher Wärmeschutz

Beim Einbau innenraumseitiger Dämmschichten fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 einen U-Wert der Wand von $U \leq 0{,}35$ W/ (m²K). In der Regel werden Dämmschichtdicken zwischen 40 - 80 mm eingebaut.

Wärmebrücken

Eine Innendämmung führt zu erhöhten Wärmeverlusten infolge der Wärmebrückeneffekte an den einbindenden Bauteilen, wie beispielsweise Zwischenwänden oder Geschossdecken, da es nicht möglich ist, eine homogene, geschlossene Dämmschicht herzustellen. Die Bauteile durchdringen dementsprechend die Wärmedämmung und binden in die kalte Außenwand ein, wo sie deutlich stärker auskühlen als es ohne Innendämmung der Fall wäre. Um Wärmebrücken zu reduzieren, sollten folglich auch die einbindenden Bauteile an die Dämmebene z.B. mittels Dämmkeilen angeschlossen werden. Anschlüsse an Fenster und Türen sind darüber hinaus luft- und diffusionshemmend bzw. -dicht auszuführen. Laibungen sollten zur Reduzierung von feuchtetechnischen Problemen unbedingt mit mindestens 1 cm starken Dämmstoffstreifen gedämmt werden.

Feuchteschutz

Besonders im Nichtwohngebäudebereich sind in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung geringere Feuchtelasten als bei den Wohngebäuden zu erwarten. Bei einer Innendämmung der Außenwand wird bei niedrigen Außenlufttemperaturen i.d.R. die Taupunkttemperatur innerhalb der Konstruktion unterschritten. Um einen Feuchteeintrag über Diffusion auf einen unkritischen Wert zu reduzieren, muss der Transport von Wasserdampf aus der Raumluft in die Konstruktion durch den Einbau einer Dampfbremse verhindert werden. Als Alternative zu herkömmlichen Folienprodukten werden auch sogenannte feuchteadaptive Dampfbremsen angeboten. Kommen kapillarleitende Dämmstoffe (z.B. Kalziumsilikatplatten) zur Anwendung oder erfolgt die Innendämmung mit diffusionsdichten Dämmstoffen (z.B. Schaumglasplatten), kann in der Regel auf eine Dampfbremse verzichtet werden. Um Bauschäden zu vermeiden, sollte die Vorplanung einer Innendämmung jedoch immer durch einen Fachmann erfolgen. In Abhängigkeit von den nutzungsbedingten raumklimatischen Bedingungen und des Zustands der Konstruktion kann eine hygrothermische Simulation sinnvoll sein.

Luftdichtheit

Bei einer Innendämmmaßnahme ist auf eine luftdichte Ausführung aller Bauteile unbedingt zu achten. Luftdichtheitsschichten können aus Folien hergestellt werden, die, wenn sie einen ausreichend hohen s_d-Wert besitzen, gleichzeitig als Dampfbremse wirksam sind. Eine Luftdichtheitsschicht kann darüber hinaus aber auch aus plattenförmigen Bekleidungen (z.B. Gipskarton- oder Gipsfaserplatten) oder einem Innenputz bestehen. Wichtig ist dabei, die systembedingten Stöße bei Plattenwerkstoffen luftdicht zu verschließen. Es ist auf die fachgerechte Ausführung von Anschlüssen (z.B. Fensterlaibung, angrenzende Bauteile) und Durchdringungen (z. B. Steckdosen) zu achten.

Sommerlicher Wärmeschutz

Durch die Anbringung einer Innendämmung wird die Speichermasse der massiven Wand tendenziell verringert. Ausreichende Speichermasse in Gebäuden ist erforderlich, um Temperaturschwankungen innerhalb eines Gebäudes zu glätten und somit zur thermischen Stabilisierung beizutragen. Es besteht die Möglichkeit, mit einem Latentspeichermaterial (PCM) nachzurüsten. Das Material kann durch die Integration in eine Spachtelmasse oder eine Platte wie jedes konventionelle Bauprodukt verwendet werden. Voraussetzung für akzeptable Innenraumtemperaturen ist in jedem Fall das Vorhandensein eines Sonnenschutzes für die transparenten Bauteilflächen.

Schallschutz

Je nach Wahl des Dämmstoffes kann eine Verbesserung des Luftschallschutzes erzielt werden. Allerdings kann bei der Verwendung von Dämmstoffen mit hoher dynamischer Steifigkeit (z.B. Polystyrol-Hartschaumplatten) aufgrund von Flankenübertragungseffekten und Resonanzen im hörbaren Bereich eine Verschlechterung des Schallschutzes zu angrenzenden Räumen hervorrufen werden. Aus schallschutztechnischer Sicht am sinnvollsten ist daher das Einbringen von Dämmplatten aus weich federnden Dämmstoffen in eine Unterkonstruktion, die möglichst wenige Verbindungsstellen zur Außenwand und den flankierenden Bauteilen aufweist oder über Trennstreifen entkoppelt ist.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifi-

ziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Ma 3.1

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Innendämmung				199			199		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				-			-		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**139**	**100**	**60**	**139**	**100**	**60**	€/m²	Fassade

energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	0,35	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	wie IST	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**164,9**	**27%**	**138,8**	**27%**	**47,2**	**14%**	**39,8**	**14%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	94,6	16%	79,7	16%	26,5	8%	22,3	8%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	249,7	39%	210,3	39%	73,7	21%	62,1	21%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**159,9**	**15%**	**82,7**	**15%**	**27,9**	**8%**	**23,5**	**8%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	92,0	14%	77,5	14%	26,1	7%	22,0	7%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	242,9	35%	204,6	35%	72,1	18%	60,7	18%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**2,8**	**2,8**	**3,3**	**3,3**	**9,8**	**9,8**	**11,6**	**11,6**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	2,9	2,9	3,5	3,5	10,5	10,5	12,4	12,4	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	2,6	2,6	3,1	3,1	8,8	8,8	10,4	10,4	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**2,9**	**2,8**	**3,4**	**3,4**	**10,0**	**10,0**	**11,8**	**11,8**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	3,0	3,0	3,6	3,6	10,6	10,6	12,6	12,6	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	2,7	2,7	3,2	3,2	9,0	9,0	10,7	10,7	ct/kWh	

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

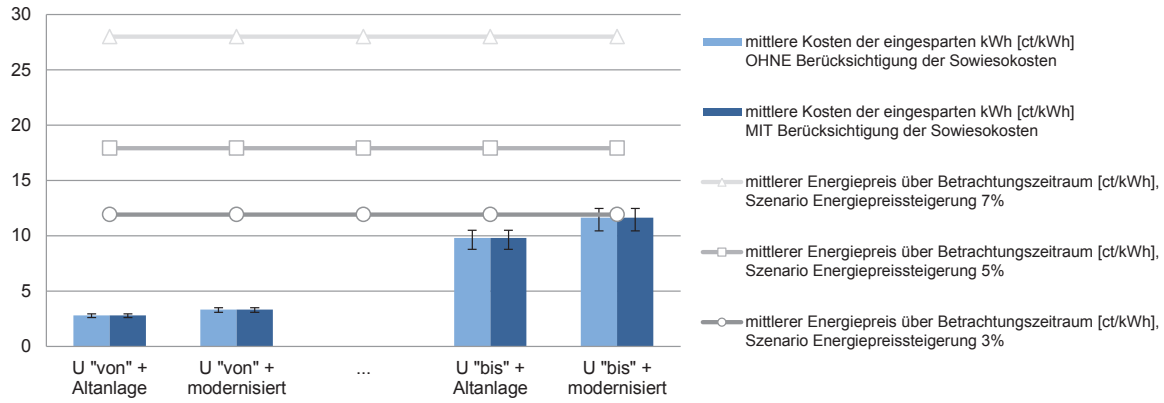
Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

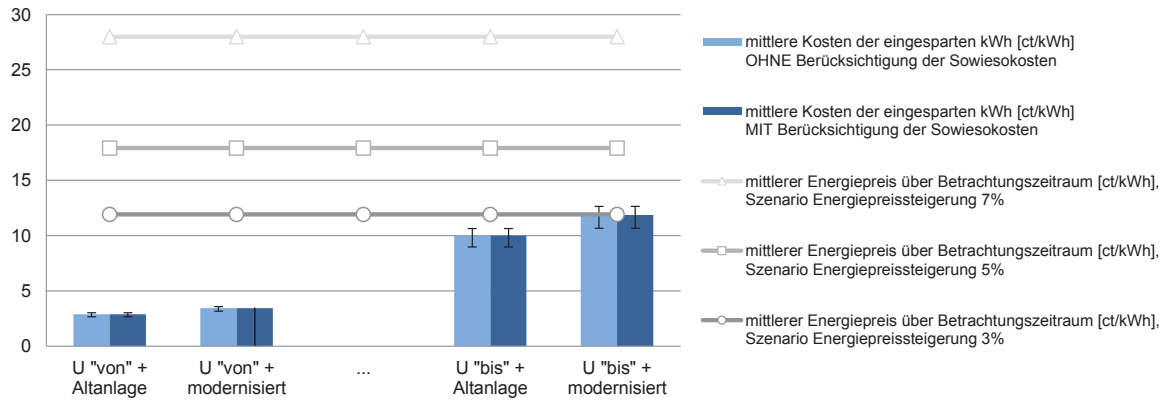
IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- **Innendämmung**
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

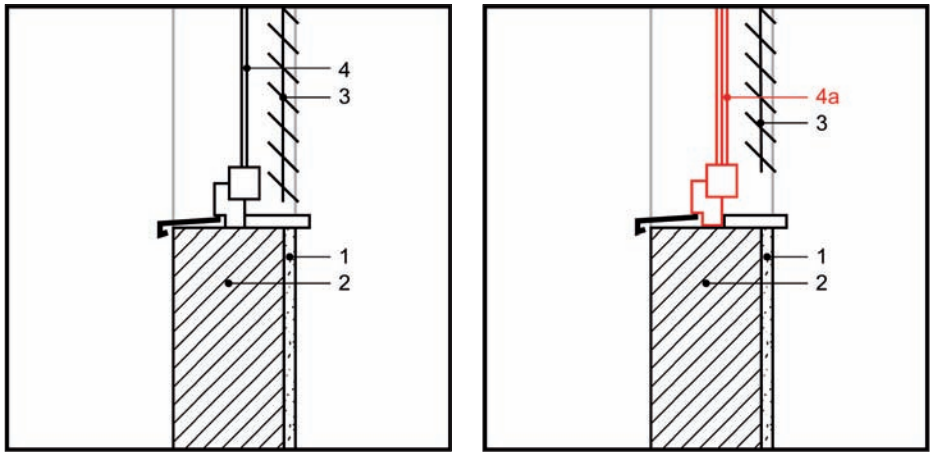


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

alt **Massivbauweise, einschalig, Lochfassade, ungedämmt, erhaltenswert, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**

AW-Ma 3.2 / 3.3



Ausgangssituation | Sanierungsmaßnahme

1 Innenputz, Bestand
2 tragende Massivwand (Mauerwerk, Beton)
3 Sonnenschutz, Bestand
4 Fenster
4a Fenster, Wärmedämmglas (neu)

System

Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

Sondergläser stellen nach Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 Schallschutzglas mit einem bewerteten Schalldämmmaß des Glases von $R_{w,R}$ > 40 dB, Sonderaufbauten zur Durchschuss-, Durchbruch- oder Sprengwirkungshemmung sowie Sonderaufbauten als Brandschutzglas dar.

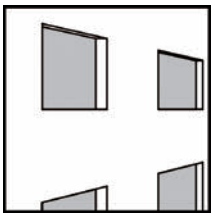
Vorteile

Von besonderem energetischem und wirtschaftlichem Interesse für einen Austausch sind Fenster mit Einfachglas, die nach Einschätzungen des VFF noch einen Bestand von insgesamt etwa 25 Millionen Fenstereinheiten ausmachen. Neben der Einsparung von Heizenergie können bei sachgemäßer Ausführung Wärmebrücken reduziert sowie die Luftdichtheit verbessert werden. Bei Fassaden mit einem hohen Transparenzanteil kann durch die Reduzierung des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases (z.B. Sonnenschutzglas g = 0,35) der sommerliche Wärmeeintrag in den Innenraum verringert werden.

Besonderheiten

Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Viele der im Gebäudebestand vorhandenen Fenster können jedoch die heutigen Anforderungen nicht mehr erfüllen. Alte Fenster sind häufig undicht, wodurch der Luftaustausch mit der Außenluft unkontrolliert erfolgt. Im Winter geht dadurch eine erhebliche Menge an Heizenergie verloren. Durch den entstehenden Luftzug und niedrige Oberflächentemperaturen entsteht häufig ein Gefühl der Unbehaglichkeit und Zugerscheinungen im Innenraum. Auch ein mangelnder Schallschutz kann eine Ursache für eine notwendige Fenstersanierung sein. Eine Fenstersanierung erzeugt neben der Verbesserung dieser Aspekte auch eine weitgehende Luftdichtigkeit der Anschlussdetails, wodurch die Lüftungswärmeverluste zu reduziert werden.

Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelpro-



Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas:	U_w = 5,0 W/(m²K)
	U_g = 5,8 W/(m²K)
	g = 0,87
Zweifachglas:	U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
	U_g = 2,9 W/(m²K)
	g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009

U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch:	U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas:	U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
	U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert

U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Lochfassade erhaltenswert.

file, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Soll das bestehende Fenster oder das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes, erhalten bleiben oder besitzt es historische, gut erhaltene Fenster, kann der Wärmschutz der Fenster durch das Anbringen eines zusätzlichen Glases von Innen verbessert werden. Bei dieser Konstruktionsart wird ein Einfachfenster nachträglich zum Kastenfenster aufgewertet. Das innere Fenster übernimmt primär die Wärme- und Schallschutzfunktion, während das alte, äußere Glas dem Witterungsschutz dient und die Optik erhalten bleibt. Es ist zudem der Einbau moderner Fenster als historische Nachbildung möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 stellt Mindestanforderungen an Fenster in bestehenden Gebäuden, falls diese ausgetauscht oder ersetzt werden. Der U_W-Wert der Fenster darf einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C betragen. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten keine Anforderungen. Die Anforderungen gelten jedoch nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme des vorgeschriebenen Glases ungeeignet ist. Wird ausschließlich das Glas eines Fensters ausgetauscht und ist die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahme aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn ein Glas mit einem U_g-Wert ≤ 1,3 W/(m²K) eingebaut wird. Darüber hinaus gelten spezielle Anforderungen bei Sondergläsern. Hier gilt ein maximaler U_W-Wert von 2,0 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Temperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 2{,}8$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Die Anforderungen gelten nicht bei Schaufenstern und Türanlagen aus Glas.

Wärmebrücken

Um Wärmebrücken zu reduzieren, kann fallspezifisch entschieden werden, bei einem Austausch das Fenster bündig zur Fassade zu setzen. Bei einer späteren Dämmmaßnahme können auf diese Weise die Wärmebrücken in den Fensterlaibungen und darüber hinaus die starke Zunahme der Laibungstiefen und somit die Entstehung von sogenannten „Schießscharten“ vermieden werden. Wird das Fenster nicht versetzt, ist bei der späteren Anbringung eines WDV-Systems auf die ausreichende Dämmung der Fensterlaibung zu achten.

Feuchteschutz

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anforderungen nach EnEV an die Fugendurchlässigkeit sind zu berücksichtigen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

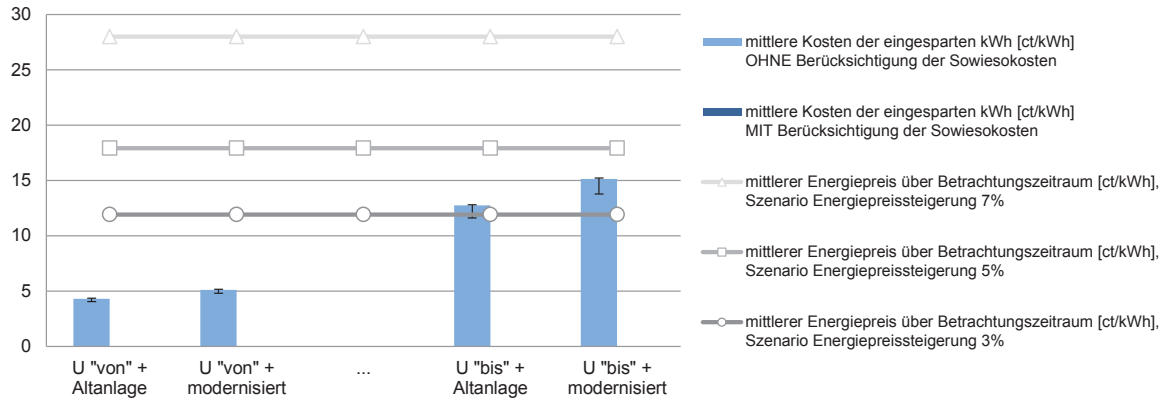
AW-Ma 3.2

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**145**	**242**	**339**	**0**	**0**	**0**	€/m²	Fassade

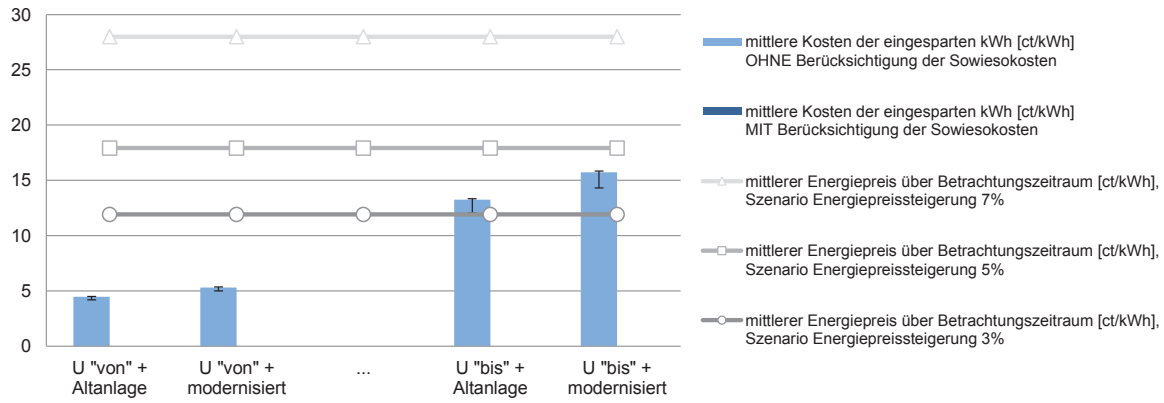
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**261,5**	**41%**	**220,2**	**41%**	**88,2**	**25%**	**74,3**	**25%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	157,6	26%	132,7	26%	52,9	16%	44,6	16%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	385,9	52%	325,0	52%	135,2	32%	113,9	32%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**251,9**	**53%**	**304,9**	**53%**	**122,9**	**33%**	**103,5**	**33%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	151,3	24%	127,4	24%	50,6	13%	42,6	13%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	372,4	48%	313,6	48%	130,7	28%	110,0	28%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0**	**5,1**	**0**	12,7	**0**	15,1	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,3	0	5,1	0	12,8	0	15,1	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0	4,8	0	11,6	0	13,8	0	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0**	**5,2**	**0**	12,8	**0**	15,2	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,5	0	5,3	0	13,3	0	15,8	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0	5,0	0	12,0	0	14,3	0	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Ma 3.3

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

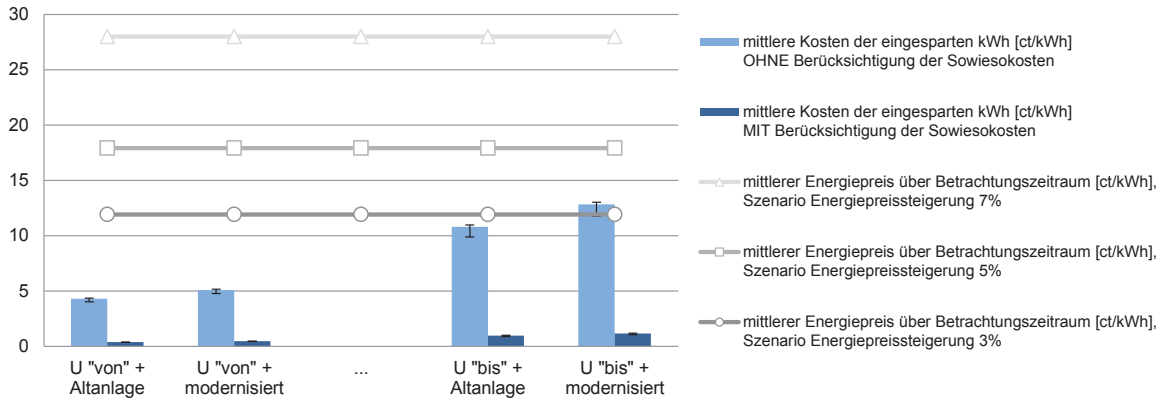
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten			**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**160**	**266**	**372**	**14**	**24**	**34**	€/m²	Fassade

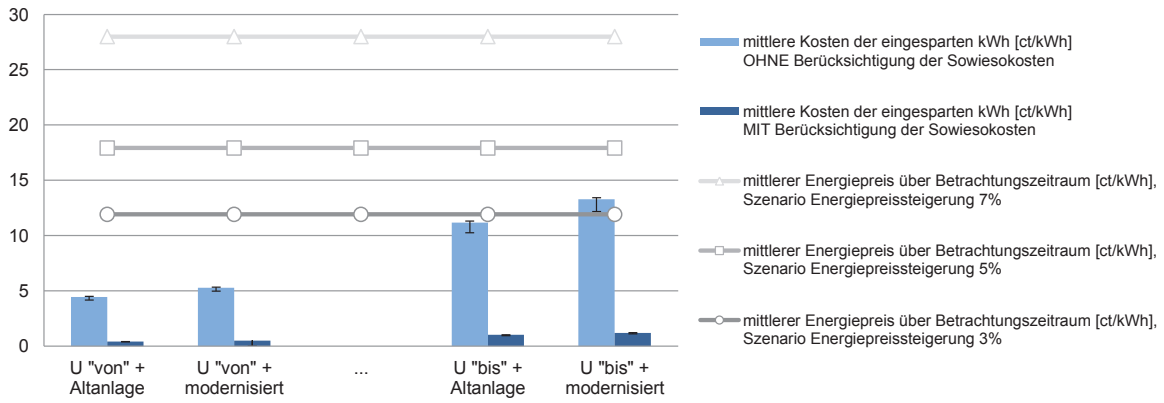
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**288,7**	**45%**	**243,1**	**45%**	**114,4**	**32%**	**96,3**	**32%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	174,5	29%	146,9	29%	69,2	21%	58,3	21%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	424,2	57%	357,3	57%	172,5	41%	145,3	41%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**278,5**	**58%**	**335,2**	**58%**	**157,8**	**42%**	**132,9**	**42%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	167,8	26%	141,3	26%	66,6	18%	56,1	18%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	409,8	53%	345,1	53%	167,3	36%	140,9	36%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0,4**	**5,1**	**0,5**	**10,8**	**1,0**	**12,8**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,2	0,4	5,0	0,5	10,7	1,0	12,7	1,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0,4	4,8	0,4	10,0	0,9	11,9	1,1	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,4**	**0,4**	**5,2**	**0,5**	**11,0**	**1,0**	**13,0**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,4	0,4	5,2	0,5	11,1	1,0	13,2	1,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0,4	5,0	0,5	10,3	0,9	12,3	1,1	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



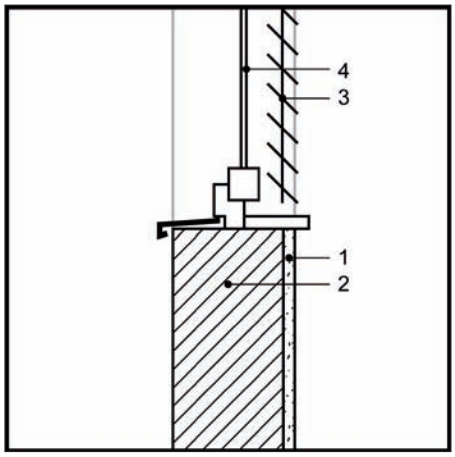
Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

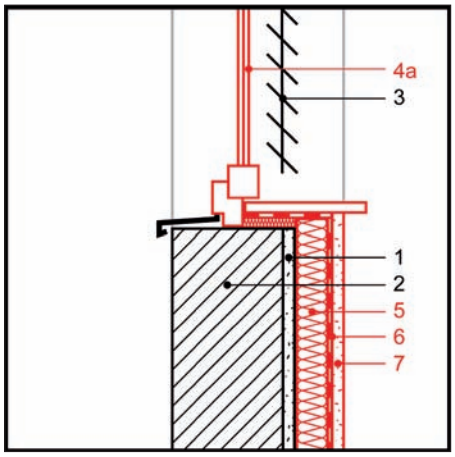
AW-Ma 3.4 / 3.5

alt **Massivbauweise, einschalig, Lochfassade, ungedämmt, erhaltenswert, Einfach- o. Isolierglas**



Ausgangssituation

neu **Innendämmung und Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**



Sanierungsmaßnahme

1	Innenputz, Bestand
2	tragende Massivwand (Mauerwerk, Beton)
3	Sonnenschutz, Bestand
4	Fenster
4a	Fenster, Wärmedämmglas (neu)
5	Wärmedämmung (neu)
6	Dampfbremse bzw. -sperre (neu)
7	Innenputz (neu)

System

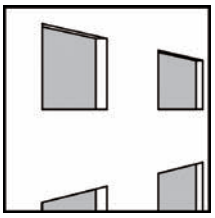
Innendämmungen bestehen in der Regel aus einer Dämmschicht, ggf. einer eingebetteten Tragstruktur, je nach Dämmstoff ggf. mit einer diffusionshemmenden oder -dichten Schicht und einer Deckschicht. Auf der Innenseite der Außenwand werden Dämmplatten vollflächig aufgeklebt oder gedübelt, Hohlräume in der Dämmschicht sind zu vermeiden. Der Untergrund muss entsprechend dem verwendeten System ausreichend eben sein, ggf. muss mit Ausgleichsschichten nachgebessert werden. Je nach Wahl des Dämmstoffes ist entsprechend eine (feuchteadaptive) Dampfbremse raumseitig der Dämmung anzuordnen (Angaben des Systemherstellers beachten!). Produktabhängig kann die Dämmung entweder direkt verputzt werden (Verbundelement mit integrierter Dampfbremse) oder es wird eine selbsttragende Vorsatzschale auf einer Unterkonstruktion aufgebracht, in der ggf. Installationen geführt werden können. Alternativ kann der Konstruktionsaufbau durch den Einsatz von Vakuumdämmung (VIP) mit einem sehr hohen Wärmedurchlasswiderstand deutlich reduziert werden. Allerdings liegen die Kosten hierfür deutlich über denen konventioneller Dämmstoffe. Zudem sind Nutzungsspezifika zu berücksichtigen, da die VIP durch Dekorationsmaßnahmen (Bildaufhänger, Regale, etc.) beschädigt und ihrer Funktionsweise beeinträchtigt werden können. Dies gilt teilweise auch für die anderen Dämmsysteme bzw. -stoffe, hier sind die Angaben des Systemherstellers unbedingt zu beachten.

Zusätzlich erfolgt in Kombination der Fensteraustausch. Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

Vorteile

Bei einer Dämmmaßnahme von innen bleibt das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes erhalten. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn Fassaden erhaltenswert bzw. stadtbildprägend sind oder unter Denkmalschutz stehen. Eine Innendämmung ist witterungsunabhängig anzubringen.

Der gleichzeitige Austausch der Fenster besitzt den Vorteil die Durchführung der einzelnen Gewerke besser aufeinander abstimmen zu können, insbesondere die Anschlusspunkte zwischen Fenster und Dämmebene. Bei einer Kombination der Maßnahmen kann der Durchführungszeitraum reduziert werden, da parallel verschiedene Gewerke gleichzeitig arbeiten. Somit kann die Nutzungsbeeinträchtigung, die in



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 1,4 - 1,0 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,35 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas:	U_w = 5,0 W/(m²K)
	U_g = 5,8 W/(m²K)
	g = 0,87
Zweifachglas:	U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
	U_g = 2,9 W/(m²K)
	g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009
U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch:	U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas:	U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
	U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert
U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Lochfassade erhaltenswert.

dieser Zeit durch Baulärm und ähnliche Störquellen entsteht, möglichst gering gehalten werden.

Besonderheiten

Besonders ältere Gebäude sind häufig erhaltenswert, ihre Fassaden sind stadtbildprägend oder sie stehen ganzheitlich unter Denkmalschutz. Diese Fassaden weisen oftmals einen schlechten Wärmeschutz auf und besitzen teilweise aufwendige Verzierungen, die das Erscheinungsbild des Gebäudes maßgebend prägen. Häufig bleibt bei solchen Gebäuden nur die Möglichkeit zur Dämmung von innen. Eine Dämmmaßnahme von innen kann jedoch auch in anderen Bereichen sinnvoll sein, beispielsweise wenn aus rechtlichen Gründen (z.B. Abstandsflächen, Besitzverhältnisse) die Anbringung einer Außendämmung nicht möglich ist. Darüber hinaus ist sie für den nachträglichen Ausbau von Kellerräumen gut geeignet oder in Gebäuden, in denen aufgrund kurzer Nutzungszeiten ein schnelles Aufheizverhalten der Innenräume wünschenswert ist (z.B. Versammlungsräume). Bei der Vorplanung ist zu berücksichtigen, dass sich die Raumfläche reduziert und ggf. Installationen wie Heizkörper und Rohrleitungen verlegt werden müssen.

Durch den zusätzlichen Fensteraustausch können Anschlussdetails fachgerecht ausgeführt und Wärmebrücken reduziert werden. Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Soll das bestehende Fenster oder das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes, erhalten bleiben oder besitzt es historische, gut erhaltene Fenster, kann der Wärmschutz der Fenster durch das Anbringen eines zusätzlichen Glases von Innen verbessert werden. Bei dieser Konstruktionsart wird ein Einfachfenster nachträglich zum Kastenfenster aufgewertet. Das innere Fenster übernimmt primär die Wärme- und Schallschutzfunktion, während das alte, äußere Glas dem Witterungsschutz dient und die Optik erhalten bleibt. Es ist zudem der Einbau moderner Fenster als historische Nachbildung möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Beim Einbau innenraumseitiger Dämmschichten fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 einen U-Wert der Wand von U ≤ 0,35 W/ (m²K). In der Regel werden Dämmschichtdicken zwischen 40 - 80 mm eingebaut. Für den Fensteraustausch gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der U_W-Wert der Fenster einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie U_W ≤ 1,9 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C nicht überschreitet, wenn das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird oder zusätzliche Vor- oder Innenfenster eingebaut werden. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, sofern die Stärke des Rahmenmaterials dies zulässt. Bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten hier keine Anforderungen. In Sonderfällen gelten weitere Anforderungen, die entweder der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 oder der Beschreibung der Einzelmaßnahme Fensteraustausch zu entnehmen sind.

Wärmebrücken

Bei der Maßnahmenkombination Innendämmung und Fensteraustausch ergibt sich der Vorteil, dass Wärmebrücken reduziert werden können, indem eine abgestimmte Gesamtplanung im Vorfeld vorgenommen wird. Bei der Maßnahmenkombination ist es in der Regel mit geringerem Aufwand verbunden, die Fenster in die Dämmebene einzubinden und die innenliegende Dämmebene auch im Laibungs-, Sturz- und Brüstungsbereich weiterzuführen. Anschlüsse an Fenster und Türen sind darüber hinaus luft- und diffusionshemmend bzw. -dicht auszuführen.

Feuchteschutz

Besonders im Nichtwohngebäudebereich sind in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung geringere Feuchtelasten als bei den Wohngebäuden zu erwarten. Bei einer Innendämmung der Außenwand wird bei niedrigen Außenlufttemperaturen i.d.R. die Taupunkttemperatur innerhalb der Konstruktion unterschritten. Um einen Feuchteeintrag über Diffusion auf einen unkritischen Wert zu reduzieren, muss der Transport von Wasserdampf aus der Raumluft in die Konstruktion durch den Einbau einer Dampfbremse verhindert werden. Als Alternative zu herkömmlichen Folienprodukten werden auch sogenannte feuchteadaptive Dampfbremsen angeboten. Kommen kapillarleitende Dämmstoffe (z.B. Kalziumsilikatplatten) zur Anwendung oder erfolgt die Innendämmung mit diffusionsdichten Dämmstoffen (z.B. Schaumglasplatten), kann in der Regel auf eine Dampfbremse verzichtet werden. Um Bauschäden zu vermeiden, sollte die Vorplanung einer Innendämmung jedoch immer durch einen Fachmann erfolgen. In Abhängigkeit von den nutzungsbedingten raumklimatischen Bedingungen und des Zustands der Konstruktion kann eine hygrothermische Simulation sinnvoll sein.

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Bei einer Innendämmmaßnahme ist auf eine luftdichte Ausführung aller Bauteile unbedingt zu achten. Luftdichtheitsschichten können aus Folien hergestellt werden, die, wenn sie einen ausreichend hohen s_d-Wert besitzen, gleichzeitig als Dampfbremse wirksam sind. Eine Luftdichtheitsschicht kann darüber hinaus aber auch aus plattenförmigen Bekleidungen (z.B. Gipskarton- oder Gipsfaserplatten) oder einem Innenputz bestehen. Wichtig ist dabei, die systembedingten Stöße bei Plattenwerkstoffen luftdicht zu verschließen. Es ist auf die fachgerechte Ausführung von Anschlüssen (z.B. Fensterlaibung, angrenzende Bauteile) und Durchdringungen (z. B. Steckdosen) zu achten.

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anschlussproblematik zwischen Fenster und Wandbereich gestaltet sich im Regelfall bei der Kombination der Maßnahmen einfacher als bei zeitlich versetzter Durchführung der Einzelmaßnahmen. Luftdichtheitsebenen wie innenliegende Folien können direkt mit dem Fenster verklebt werden, da die Anschlüsse ohnehin neu ausgebildet werden müssen

Sommerlicher Wärmeschutz

Durch die Anbringung einer Innendämmung wird die Speichermasse der massiven Wand tendenziell verringert. Ausreichende Speichermasse in Gebäuden ist erforderlich, um Temperaturschwankungen innerhalb eines Gebäudes zu glätten und somit zur thermischen Stabilisierung beizutragen. Es besteht die Möglichkeit, mit einem Latentspeichermaterial (PCM) nachzurüsten. Das Material kann durch die Integration in eine Spachtelmasse oder eine Platte wie jedes konventionelle Bauprodukt verwendet werden.

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Je nach Wahl des Dämmstoffes kann eine Verbesserung des Luftschallschutzes erzielt werden. Allerdings kann bei der Verwendung von Dämmstoffen mit hoher dynamischer Steifigkeit (z.B. Polystyrol-Hartschaumplatten) aufgrund von Flankenübertragungseffekten und Resonanzen im hörbaren Bereich eine Verschlechterung des Schallschutzes zu angrenzenden Räumen hervorrufen werden. Aus schallschutztechnischer Sicht am sinnvollsten ist daher das Einbringen von Dämmplatten aus weich federnden Dämmstoffen in eine Unterkonstruktion, die möglichst wenige Verbindungsstellen zur Außenwand und den flankierenden Bauteilen aufweist oder über Trennstreifen entkoppelt ist. Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems. Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Ma 3.4

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Innendämmung				199			199		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**285**	**342**	**399**	**139**	**100**	**60**	€/m²	Fassade

energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	0,35	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**410,1**	**66%**	**345,4**	**66%**	**130,7**	**39%**	**110,0**	**39%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	366,4	67%	308,6	67%	110,7	38%	93,2	38%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	487,1	66%	410,2	66%	165,4	39%	139,3	39%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**398,1**	**67%**	**370,6**	**67%**	**144,2**	**40%**	**121,5**	**40%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	356,3	60%	300,0	60%	107,7	31%	90,7	31%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	471,8	61%	397,3	61%	160,4	34%	135,1	34%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,9**	**1,1**	**4,6**	**1,3**	12,1	**3,5**	14,4	**4,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,6	1,8	4,3	2,1	11,9	5,8	14,2	6,9	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,8	0,6	4,5	0,7	11,2	1,7	13,3	2,0	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,0**	**0,6**	**5,0**	**0,7**	12,8	**1,9**	15,2	**2,3**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,7	1,8	4,4	2,2	12,3	6,0	14,6	7,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,9	0,6	4,7	0,7	11,5	1,7	13,7	2,1	ct/kWh	

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

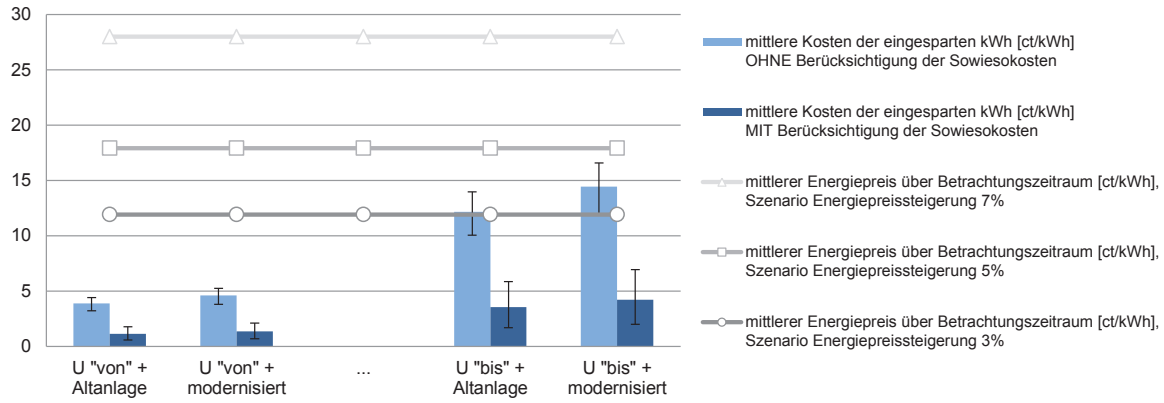
Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

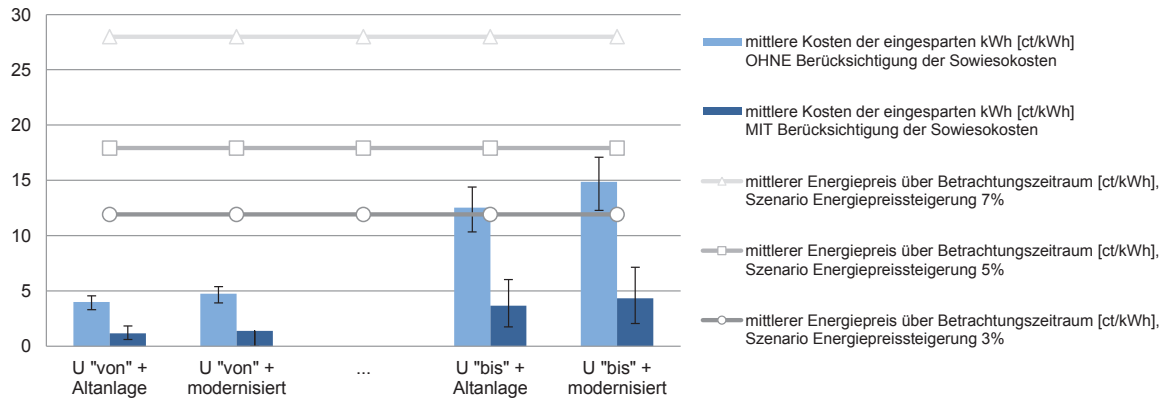
IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- **Innendämmung**
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

AW-Ma 3.5

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- **massiv 1-schalig**
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

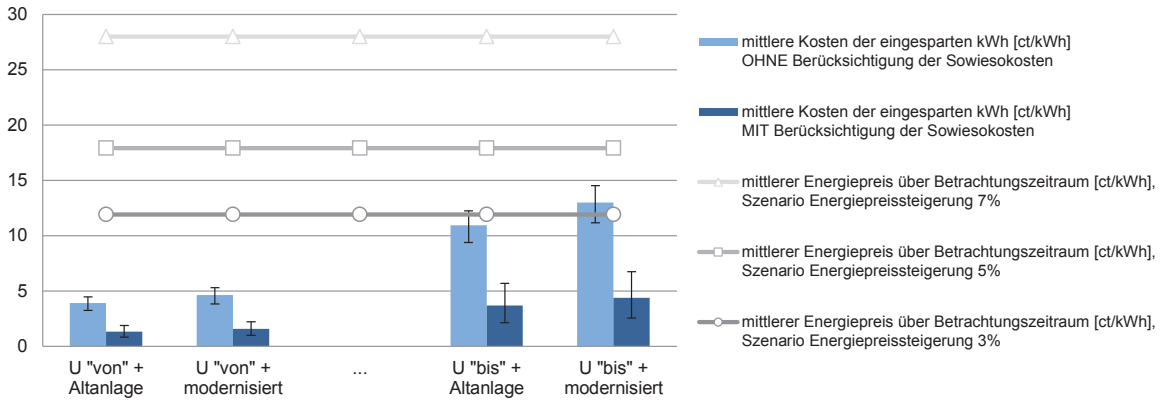
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- **Innendämmung**
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten			**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Innendämmung				199			199		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**299**	**365**	**432**	**154**	**123**	**93**	€/m²	Fassade

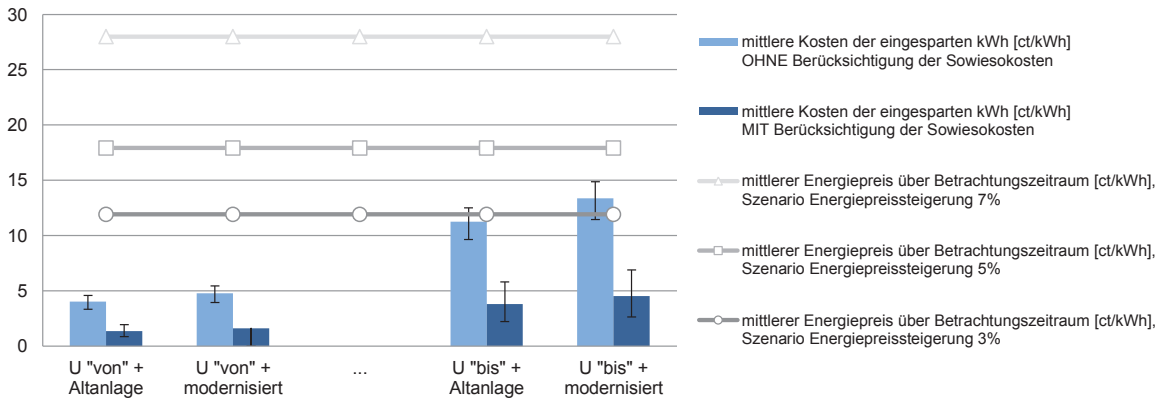
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,4	1,4	1,0	1,0	[W/(m²K)]	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**434,6**	**70%**	**366,0**	**70%**	**155,2**	**46%**	**130,7**	**46%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	381,7	69%	321,4	69%	125,9	43%	106,1	43%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	524,0	70%	441,3	70%	202,3	48%	170,4	48%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**422,4**	**72%**	**398,7**	**72%**	**177,5**	**50%**	**149,5**	**50%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	371,5	63%	312,8	63%	123,0	36%	103,5	36%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	508,1	65%	427,9	65%	196,7	42%	165,7	42%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,9**	**1,3**	**4,6**	**1,6**	**10,9**	**3,7**	**13,0**	**4,4**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,6	1,9	4,3	2,2	11,0	5,7	13,1	6,7	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,8	0,8	4,5	1,0	9,9	2,1	11,8	2,5	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,0**	**0,9**	**5,0**	**1,1**	**11,3**	**2,4**	**13,4**	**2,9**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,7	1,9	4,4	2,3	11,3	5,8	13,4	6,9	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,0	0,9	4,7	1,0	10,2	2,2	12,1	2,6	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

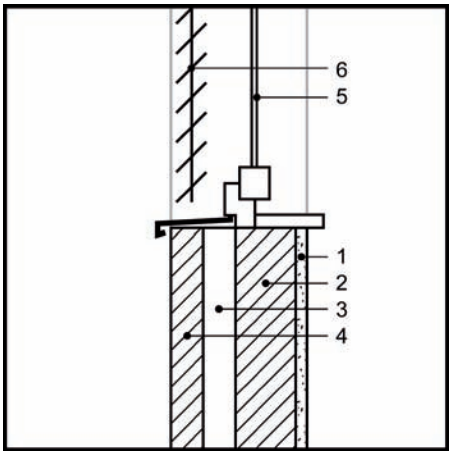


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

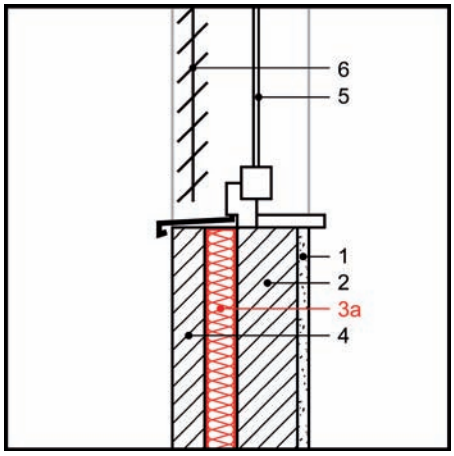
alt **Massivbauweise, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Kerndämmung**

AW-Ma 4.1



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Innenputz, Bestand
2 Tragschale (Mauerwerk, Beton)
3 Luftschicht
3a Kerndämmung (neu)
4 Vormauerschale
5 Fenster
6 Sonnenschutz, Bestand

System

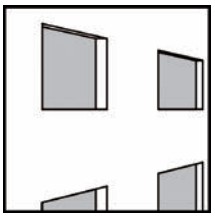
Zweischalige Außenwandkonstruktionen bestehen aus einer inneren Tragschale, einer Luftschicht und einer Verblendschale die, meist über Mauerwerksanker in Form von Drahtstiften, miteinander verbunden sind. Die Verblendschale wurde sowohl mit Putzschicht als auch unverputzt als Sichtmauerwerk erstellt. Durch Bohrlöcher, Lüftungsöffnungen oder herausgenommene Vormauerstein wird ein loser und dauerhaft wasserabweisender Dämmstoff (schütt- oder einblasbar) in den Hohlraum zwischen den Mauerwerksschalen eingebracht und verdichtet. Die Einblasöffnungen werden in der Regel von außen erstellt, bei denkmalgeschützten Fassaden können die Öffnungen auch durch die Tragschale hindurch von der Innenseite angelegt werden. Als Richtwert ist von vier bis sechs Öffnungen pro 20 m² Fassadenfläche auszugehen. Besonders geeignet sind Perlite, hydrophobierte Mineralfaserflocken oder -granulate und Polystyrol-Partikelschaum-Perlen. Die Dämmstoffe müssen in jedem Fall wasserabweisend sein und müssen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für diesen Anwendungsfall besitzen.

Vorteile

Bei einer Kerndämmung bleibt das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes erhalten. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn Fassaden erhaltenswert bzw. stadtbildprägend sind oder unter Denkmalschutz stehen. Der Vorteil im Gegensatz zur Innendämmung besteht darin, dass die thermische Speichermasse der Massivwand erhalten bleibt. Die inneren Oberflächentemperaturen steigen an, wodurch die Gefahr von Schimmelpilzbildung vermindert wird. Die Nutzungsbeeinträchtigung während der Sanierung ist relativ gering. Darüber hinaus zählt diese Dämmmaßnahme zu den kostengünstigen Sanierungsmaßnahmen.

Besonderheiten

Besonders ältere Gebäude sind häufig erhaltenswert, ihre Fassaden sind stadtbildprägend oder sie stehen ganzheitlich unter Denkmalschutz. Bei zweischaligen Außenwandkonstruktionen mit Luftschicht bietet sich unter anderem die nachträgliche Dämmung des Fassadenzwischenraums an. Vorab ist zu prüfen, ob diese Luftschicht durchgängig und nicht durch Bauschutt versperrt ist. Zudem ist sicherzustellen, dass die äußere Mauerwerksschale intakt, tragfähig und nicht durchfeuchtet ist. Im Fußpunktbereich sollten möglichst Notentwässerungsöffnungen vorgesehen werden. Eine lückenlose Verfüllung des Hohlraumes kann nicht immer garantiert werden.



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 1,3 - 1,1 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
Vollständiges Ausfüllen des Hohlraums mit Dämmstoff

Lochfassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

Winterlicher Wärmeschutz

Bei einer Kerndämmung von mehrschaligem Mauerwerk gilt laut Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 die Anforderung als erfüllt, wenn der bestehende Hohlraum zwischen den Schalen vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt wird. Es dürfen nur Produkte verwendet werden, die für diesen Anwendungsfall genormt sind oder deren Tauglichkeit durch eine bauaufsichtliche Zulassung sichergestellt ist.

Wärmebrücken

Bestehende Wärmebrücken (z.B. im Bereich des Anschlusses an die Bodenplatte, Mauerwerksanker, einbindende Steine) können durch die Dämmmaßnahme nicht wesentlich reduziert werden, da an diesen Stellen die Dämmebene unterbrochen wird. Allerdings können diese im Bereich von einbindenden Bauteilen (z.B. Geschossdecken und Innenwände) etwas gemindert werden. Vor der Einbringung des Dämmstoffes ist unbedingt auf die Durchgängigkeit der Luftschicht zu achten, damit die Entstehung weiterer Wärmebrücken vermieden werden kann. Eine vorherige Endoskopie kann Aufschluss über den Zustand geben. An den Anschlusspunkten (z.B. Fenster, Türen) ist auf eine besonders sorgfältige Planung und Ausführung zu achten, um Wärmebrückeneffekte nicht zu verstärken. Die Laibungen bei nicht in der Dämmebene sitzenden Öffnungen sind zur Reduzierung von Transmissionswärmeverlusten sowie feuchtetechnischen Problemen möglichst mit einem mind. 1 cm starken Dämmstoffstreifen zu dämmen. Auch die Anschlussbereiche der Außenwand an erdgeschossige Bodenplatten oder Kellerdecken stellen Wärmebrücken dar. Abhängig von der Bestandssituation kann die Dämmebene bis unterhalb der einbindenden Deckenplatte weitergeführt werden.

Feuchteschutz

Ein zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung ist bezüglich des Feuchteschutzes als unkritisch zu betrachten. Ein Nachweis nach DIN 4108-03 ist in der Regel nicht erforderlich. Es ist sicherzustellen, dass die Innenschale (Tragschale) winddicht ist. Die aufgrund von Winddruck durch das Vormauerwerk transportierte Regenwassermenge ist in der Regel gering und kann auf der Innenseite der Verblendschale ablaufen. Eine Entwässerung erfolgt durch im Sockelbereich angeordnete Entwässerungsöffnungen. Die eingedrungene Regenmenge stellt keine besondere Belastung für den Kerndämmstoff dar.

Luftdichtheit

Eine Kerndämmung bildet nicht zwangsläufig eine luftdichte Schicht, was auf die Anschlüsse an andere Bauteile, z.B. Fensterrahmen und konstruktionsbedingte Einbauteile wie Mauerwerksanker, zurückzuführen ist. Zudem handelt es sich bei nachträglich eingebrachter Kerndämmung meist um einblasfähige Materialien, die keine luftdichte Schicht ausbilden können. Die luftdichte Schicht wird z.B. durch eine intakte Innentagstruktur (z.B. Innenputz) gebildet.

Sommerlicher Wärmeschutz

Eine Kerndämmung wirkt sich, neben der Verbesserung des winterlichen Wärmschutzes, bei richtigem Nutzerverhalten in der Regel auch positiv auf die sommerlichen Raumtemperaturen aus, da sich durch den erhöhten Wärmedurchlasswiderstand der ertüchtigten Konstruktion die Außenwände durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmen. Des Weiteren nimmt eine Kerndämmung keinen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Außenwände und die Nutzung. Voraussetzung für akzeptable Innenraumtemperaturen ist in jedem Fall das Vorhandensein eines Sonnenschutzes für die transparenten Bauteilflächen.

Schallschutz

Eine zweischalige Wandkonstruktion, bestehend aus zwei biegesteifen Schalen, besitzt bei einer körperschallbrückenfreien Ausführung ohnehin eine hohe Schalldämmung. Dementsprechend spielt es eher eine untergeordnete Rolle, ob der Schalenzwischenraum mit Luft oder mit einer Dämmschicht gefüllt ist. Eine nachträgliche Verfüllung des Zwischenraumes beeinflusst also die Schalldämmung nicht wesentlich, insgesamt kann jedoch tendenziell eine Verbesserung des Schallschutzes erzielt werden.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Die brandschutztechnischen Eigenschaften von zweischaligen Außenwandkonstruktionen werden in erster Linie durch das Material der Dämmschicht bestimmt.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Ma 4.1

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

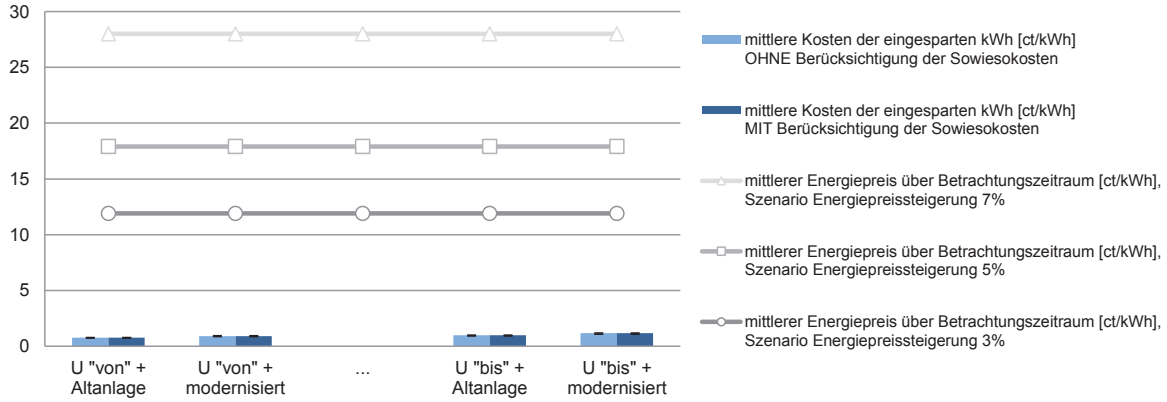
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- **Kerndämmung**
- Fensteraustausch nach EnEV
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten			**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Kerndämmung				27			27		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				-			-		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**19**	**14**	**8**	**19**	**14**	**8**	€/m²	Fassade

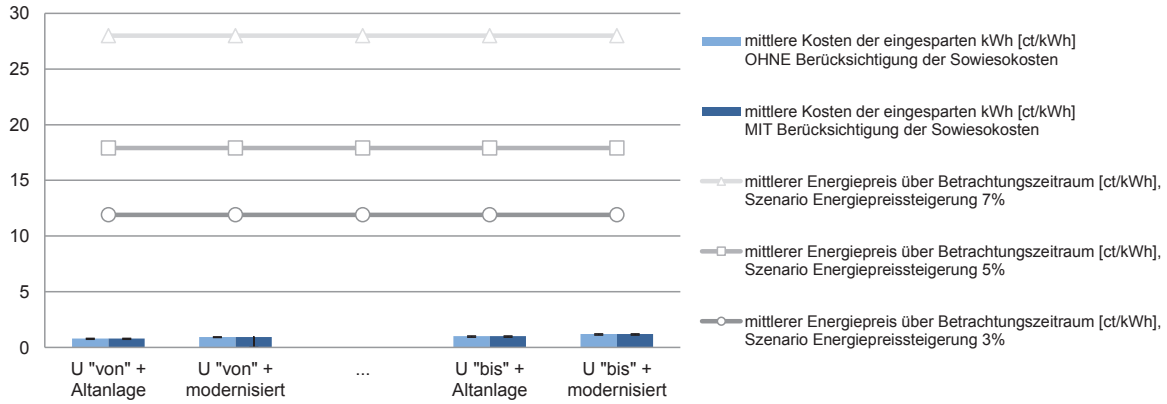
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	wie IST	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**82,0**	**15%**	**69,0**	**15%**	**64,0**	**18%**	**53,9**	**18%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	48,4	8%	40,8	8%	37,7	10%	31,8	10%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	122,3	24%	103,0	24%	97,5	26%	82,1	26%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**79,5**	**8%**	**41,3**	**8%**	**37,9**	**10%**	**31,9**	**10%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	46,8	7%	39,4	7%	36,6	9%	30,9	9%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	118,9	22%	100,2	22%	95,4	23%	80,4	23%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**0,8**	**0,8**	**0,9**	**0,9**	**1,0**	**1,0**	**1,2**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,2	1,2	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	1,1	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**0,8**	**0,8**	**0,9**	**0,9**	**1,0**	**1,0**	**1,2**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	1,1	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

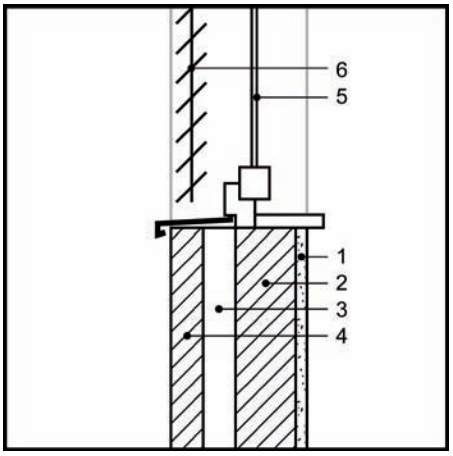


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

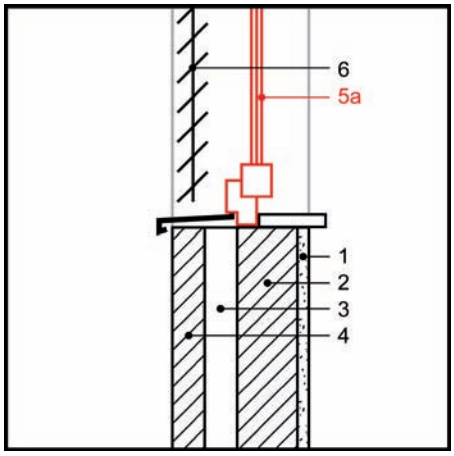
alt **Massivbauweise, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**

AW-Ma 4.2 / 4.3



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Innenputz, Bestand
2 Tragschale (Mauerwerk, Beton)
3 Luftschicht
4 Vormauerschale
5 Fenster
5a Fenster, Wärmedämmglas (neu)
6 Sonnenschutz, Bestand

System

Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w = 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

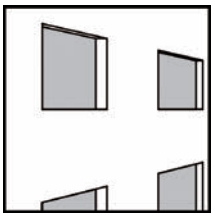
Sondergläser stellen nach Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 Schallschutzglas mit einem bewerteten Schalldämmmaß des Glases von $R_{w,R}$ > 40 dB, Sonderaufbauten zur Durchschuss-, Durchbruch- oder Sprengwirkungshemmung sowie Sonderaufbauten als Brandschutzglas dar.

Vorteile

Von besonderem energetischem und wirtschaftlichem Interesse für einen Austausch sind Fenster mit Einfachglas, die nach Einschätzungen des VFF noch einen Bestand von insgesamt etwa 25 Millionen Fenstereinheiten ausmachen. Neben der Einsparung von Heizenergie können bei sachgemäßer Ausführung Wärmebrücken reduziert sowie die Luftdichtheit verbessert werden. Bei Fassaden mit einem hohen Transparenzanteil kann durch die Reduzierung des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases (z.B. Sonnenschutzglas g = 0,35) der sommerliche Wärmeeintrag in den Innenraum verringert werden.

Besonderheiten

Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Viele der im Gebäudebestand vorhandenen Fenster können jedoch die heutigen Anforderungen nicht mehr erfüllen. Alte Fenster sind häufig undicht, wodurch der Luftaustausch mit der Außenluft unkontrolliert erfolgt. Im Winter geht dadurch eine erhebliche Menge an Heizenergie verloren. Durch den entstehenden Luftzug und niedrige Oberflächentemperaturen entsteht häufig ein Gefühl der Unbehaglichkeit und Zugerscheinungen im Innenraum. Auch ein mangelnder Schallschutz kann eine Ursache für eine notwendige Fenstersanierung sein. Eine Fenstersanierung erzeugt neben der Verbesserung dieser Aspekte auch eine weitgehende Luftdichtigkeit der Anschlussdetails, wodurch die Lüftungswärmeverluste zu reduziert werden.



Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas: U_w = 5,0 W/(m²K)
U_g = 5,8 W/(m²K)
g = 0,87

Zweifachglas: U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
U_g = 2,9 W/(m²K)
g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009

U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch: U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas: U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert

U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Lochfassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Soll das bestehende Fenster oder das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes, erhalten bleiben oder besitzt es historische, gut erhaltene Fenster, kann der Wärmschutz der Fenster durch das Anbringen eines zusätzlichen Glases von Innen verbessert werden. Bei dieser Konstruktionsart wird ein Einfachfenster nachträglich zum Kastenfenster aufgewertet. Das innere Fenster übernimmt primär die Wärme- und Schallschutzfunktion, während das alte, äußere Glas dem Witterungsschutz dient und die Optik erhalten bleibt. Es ist zudem der Einbau moderner Fenster als historische Nachbildung möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 stellt Mindestanforderungen an Fenster in bestehenden Gebäuden, falls diese ausgetauscht oder ersetzt werden. Der U_W-Wert der Fenster darf einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C betragen. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten keine Anforderungen. Die Anforderungen gelten jedoch nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme des vorgeschriebenen Glases ungeeignet ist. Wird ausschließlich das Glas eines Fensters ausgetauscht und ist die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahme aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn ein Glas mit einem U_g-Wert ≤ 1,3 W/(m²K) eingebaut wird. Darüber hinaus gelten spezielle Anforderungen bei Sondergläsern. Hier gilt ein maximaler U_W-Wert von 2,0 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Temperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 2{,}8$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Die Anforderungen gelten nicht bei Schaufenstern und Türanlagen aus Glas.

Wärmebrücken

Um Wärmebrücken zu reduzieren, kann fallspezifisch entschieden werden, bei einem Austausch das Fenster bündig zur Fassade zu setzen. Bei einer späteren Dämmmaßnahme können auf diese Weise die Wärmebrücken in den Fensterlaibungen und darüber hinaus die starke Zunahme der Laibungstiefen und somit die Entstehung von sogenannten „Schießscharten“ vermieden werden. Wird das Fenster nicht versetzt, ist bei der späteren Anbringung eines WDV-Systems auf die ausreichende Dämmung der Fensterlaibung zu achten.

Feuchteschutz

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anforderungen nach EnEV an die Fugendurchlässigkeit sind zu berücksichtigen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz.

Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

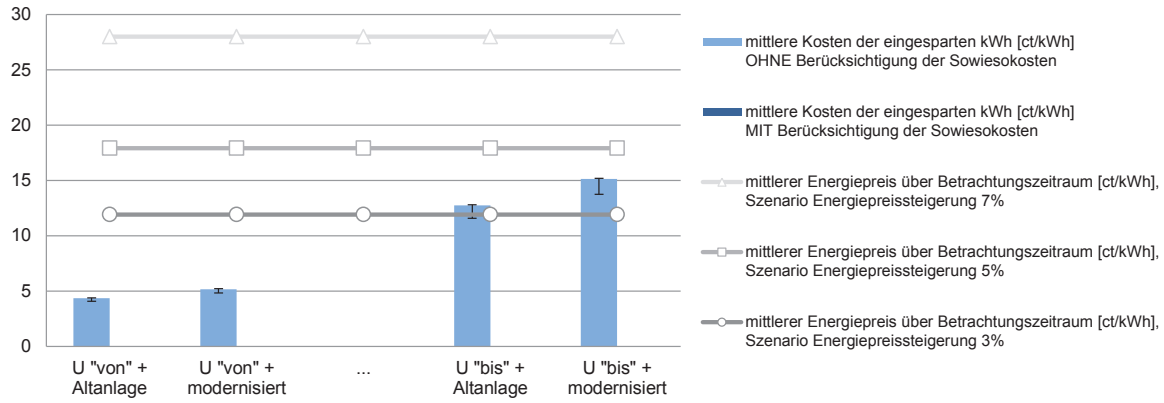
AW-Ma 4.2

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**145**	**242**	**339**	**0**	**0**	**0**	€/m²	Fassade

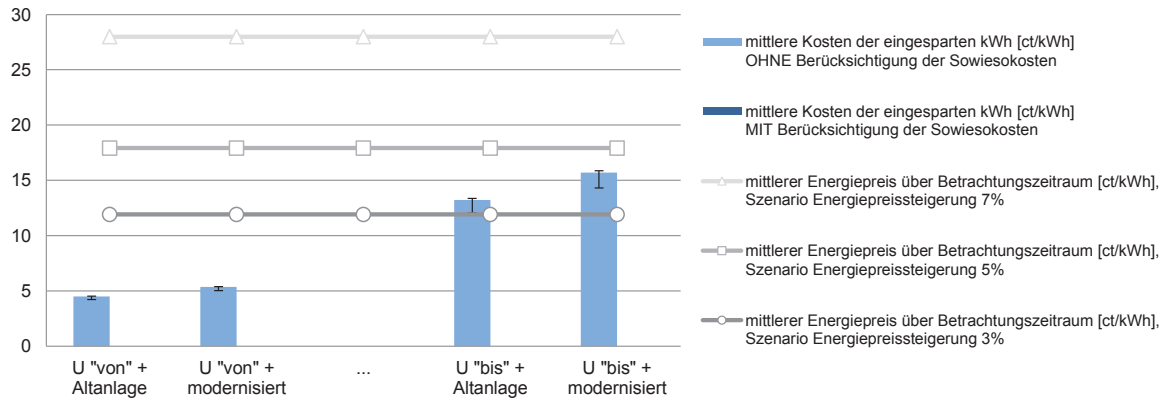
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**258,5**	**47%**	**217,6**	**47%**	**88,3**	**24%**	**74,4**	**24%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	156,0	34%	131,4	34%	53,0	16%	44,6	16%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	383,5	56%	323,0	56%	135,3	32%	114,0	32%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**249,9**	**57%**	**302,1**	**57%**	**123,0**	**32%**	**103,6**	**32%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	150,3	29%	126,6	29%	50,5	13%	42,6	13%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	370,7	51%	312,2	51%	130,7	28%	110,1	28%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,4**	**0**	**5,2**	**0**	**12,7**	**0**	**15,1**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,3	0	5,1	0	12,7	0	15,1	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0	4,9	0	11,6	0	13,8	0	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0**	**5,2**	**0**	**12,8**	**0**	**15,2**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,5	0	5,3	0	13,4	0	15,9	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0	5,0	0	12,0	0	14,3	0	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Ma 4.3

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

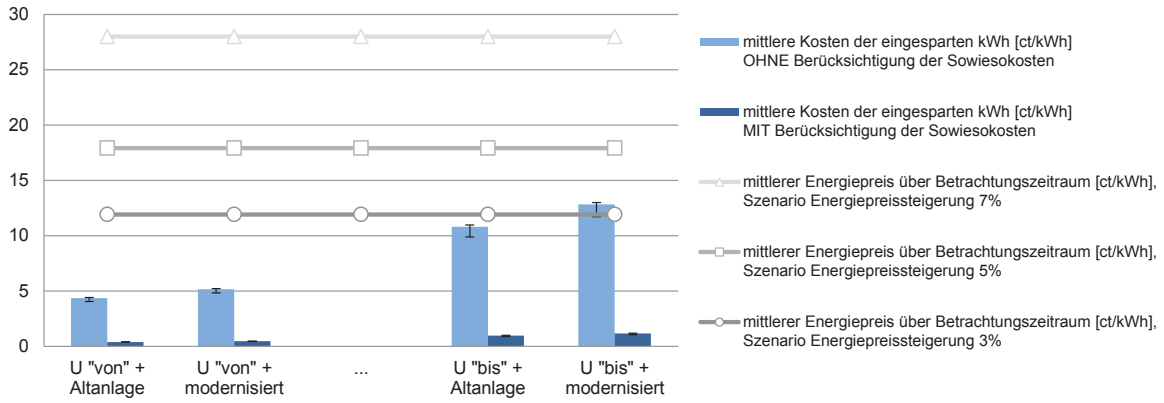
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten			**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**160**	**266**	**372**	**14**	**24**	**34**	€/m²	Fassade

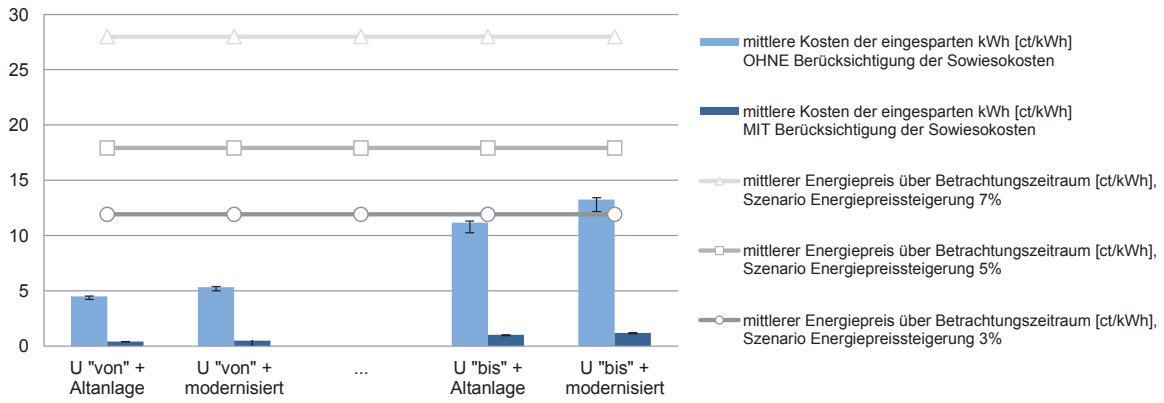
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**284,8**	**52%**	**239,8**	**52%**	**114,5**	**32%**	**96,4**	**32%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	172,5	37%	145,3	37%	69,3	20%	58,4	20%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	421,0	62%	354,6	62%	172,7	40%	145,4	40%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**275,7**	**63%**	**331,7**	**63%**	**158,0**	**41%**	**133,1**	**41%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	166,5	33%	140,2	33%	66,7	17%	56,2	17%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	407,6	57%	343,2	57%	167,4	36%	141,0	36%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0,4**	**5,2**	**0,5**	**10,8**	**1,0**	**12,8**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,3	0,4	5,1	0,5	10,7	1,0	12,7	1,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0,4	4,9	0,4	10,0	0,9	11,9	1,1	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0,4**	**5,2**	**0,5**	**10,9**	**1,0**	**13,0**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,5	0,4	5,3	0,5	11,1	1,0	13,2	1,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0,4	5,0	0,5	10,3	0,9	12,3	1,1	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



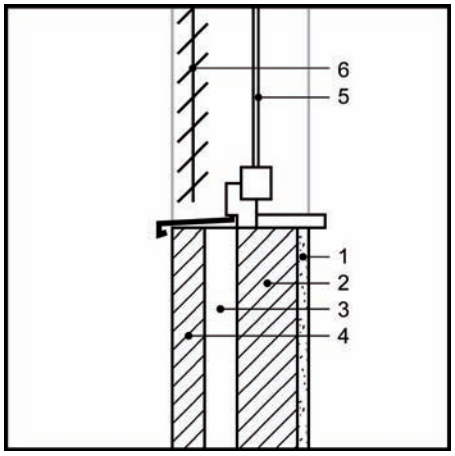
Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

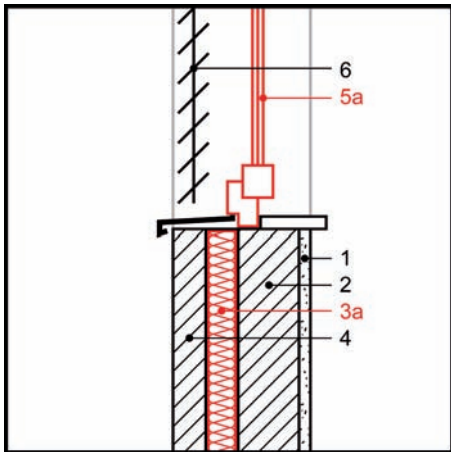
AW-Ma 4.4 / 4.5

alt **Massivbauweise, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt, Einfach- o. Isolierglas**



Ausgangssituation

neu **Kerndämmung und Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**



Sanierungsmaßnahme

1	Innenputz, Bestand
2	Tragschale (Mauerwerk, Beton)
3	Luftschicht
3a	Kerndämmung (neu)
4	Vormauerschale
5	Fenster
5a	Fenster, Wärmedämmglas (neu)
6	Sonnenschutz, Bestand

System

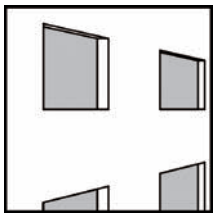
Zweischalige Außenwandkonstruktionen bestehen aus einer inneren Tragschale, einer Luftschicht und einer Verblendschale die, meist über Mauerwerksanker in Form von Drahtstiften, miteinander verbunden sind. Die Verblendschale wurde sowohl mit Putzschicht als auch unverputzt als Sichtmauerwerk erstellt. Durch Bohrlöcher, Lüftungsöffnungen oder herausgenommene Vormauerstein wird ein loser und dauerhaft wasserabweisender Dämmstoff (schütt- oder einblasbar) in den Hohlraum zwischen den Mauerwerksschalen eingebracht und verdichtet. Die Einblasöffnungen werden in der Regel von außen erstellt, bei denkmalgeschützten Fassaden können die Öffnungen auch durch die Tragschale hindurch von der Innenseite angelegt werden. Als Richtwert ist von vier bis sechs Öffnungen pro 20 m² Fassadenfläche auszugehen. Besonders geeignet sind Perlite, hydrophobierte Mineralfaserflocken oder -granulate und Polystyrol-Partikelschaum-Perlen. Die Dämmstoffe müssen in jedem Fall wasserabweisend sein und müssen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für diesen Anwendungsfall besitzen.

Zusätzlich erfolgt in Kombination der Fensteraustausch. Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w = 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

Vorteile

Bei einer Kerndämmung bleibt das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes erhalten. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn Fassaden erhaltenswert bzw. stadtbildprägend sind oder unter Denkmalschutz stehen. Der Vorteil im Gegensatz zur Innendämmung besteht darin, dass die thermische Speichermasse der Massivwand erhalten bleibt. Die inneren Oberflächentemperaturen steigen an, wodurch die Gefahr von Schimmelpilzbildung vermindert wird. Die Nutzungsbeeinträchtigung während der Sanierung ist relativ gering. Darüber hinaus zählt diese Dämmmaßnahme zu den kostengünstigen Sanierungsmaßnahmen.

Der gleichzeitige Austausch der Fenster besitzt den Vorteil die Durchführung der einzelnen Gewerke besser aufeinander abstimmen zu können, insbesondere die Anschlusspunkte zwischen Fenster und Dämmebene. Bei einer Kombination der Maßnahmen kann der Durchführungszeitraum reduziert werden, da parallel verschiedene Gewerke gleichzeitig arbeiten. Somit kann die Nutzungsbeeinträchtigung, die in



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 1,3 - 1,1 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
Vollständiges Ausfüllen des Hohlraums mit Dämmstoff

Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas:	U_w = 5,0 W/(m²K)
	U_g = 5,8 W/(m²K)
	g = 0,87
Zweifachglas:	U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
	U_g = 2,9 W/(m²K)
	g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009
U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch:	U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas:	U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
	U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert
U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Lochfassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

dieser Zeit durch Baulärm und ähnliche Störquellen entsteht, möglichst gering gehalten werden.

Besonderheiten

Besonders ältere Gebäude sind häufig erhaltenswert, ihre Fassaden sind stadtbildprägend oder sie stehen ganzheitlich unter Denkmalschutz. Bei zweischaligen Außenwandkonstruktionen mit Luftschicht bietet sich unter anderem die nachträgliche Dämmung des Fassadenzwischenraums an. Vorab ist zu prüfen, ob diese Luftschicht durchgängig und nicht durch Bauschutt versperrt ist. Zudem ist sicherzustellen, dass die äußere Mauerwerksschale intakt, tragfähig und nicht durchfeuchtet ist. Im Fußpunktbereich sollten möglichst Notentwässerungsöffnungen vorgesehen werden. Eine lückenlose Verfüllung des Hohlraumes kann nicht immer garantiert werden.

Durch den zusätzlichen Fensteraustausch können Anschlussdetails fachgerecht ausgeführt und Wärmebrücken reduziert werden. Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Soll das bestehende Fenster oder das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes, erhalten bleiben oder besitzt es historische, gut erhaltene Fenster, kann der Wärmschutz der Fenster durch das Anbringen eines zusätzlichen Glases von Innen verbessert werden. Bei dieser Konstruktionsart wird ein Einfachfenster nachträglich zum Kastenfenster aufgewertet. Das innere Fenster übernimmt primär die Wärme- und Schallschutzfunktion, während das alte, äußere Glas dem Witterungsschutz dient und die Optik erhalten bleibt. Es ist zudem der Einbau moderner Fenster als historische Nachbildung möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Bei einer Kerndämmung von mehrschaligem Mauerwerk gilt laut Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 die Anforderung als erfüllt, wenn der bestehende Hohlraum zwischen den Schalen vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt wird. Es dürfen nur Produkte verwendet werden, die für diesen Anwendungsfall genormt sind oder deren Tauglichkeit durch eine bauaufsichtliche Zulassung sichergestellt ist. Für den Fensteraustausch gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der U_W-Wert der Fenster einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C nicht überschreitet, wenn das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird oder zusätzliche Vor- oder Innenfenster eingebaut werden Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, sofern die Stärke des Rahmenmaterials dies zulässt. Bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten hier keine Anforderungen. In Sonderfällen gelten weitere Anforderungen, die entweder der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 oder der Beschreibung der Einzelmaßnahme Fensteraustausch zu entnehmen sind.

Wärmebrücken

Bei der Maßnahmenkombination Kerndämmung und Fensteraustausch ergibt sich der Vorteil, dass Wärmebrücken reduziert werden können, indem eine abgestimmte Gesamtplanung im Vorfeld vorgenommen wird. Bei der Maßnahmenkombination ist es in der Regel mit geringerem Aufwand verbunden, die Fenster in die Dämmebene einzubinden. An den Anschlusspunkten (z.B. Fenster, Türen) ist auf eine besonders sorgfältige Planung und Ausführung zu achten, um Wärmebrückeneffekte nicht zu verstärken. Die Laibungen bei nicht in der Dämmebene sitzenden Öffnungen sind zur Reduzierung von Transmissionswärmeverlusten sowie feuchtetechnischen Problemen möglichst mit einem mind. 1 cm starken Dämmstoffstreifen zu dämmen.

Bestehende Wärmebrücken (z.B. im Bereich des Anschlusses an die Bodenplatte, Mauerwerksanker, einbindende Steine) können durch die Dämmmaßnahme nicht wesentlich reduziert werden, da an diesen Stellen die Dämmebene unterbrochen wird. Allerdings können diese im Bereich von einbindenden Bauteilen (z.B. Geschossdecken und Innenwände) etwas gemindert werden. Vor der Einbringung des Dämmstoffes ist unbedingt auf die Durchgängigkeit der Luftschicht zu achten, damit die Entstehung weiterer Wärmebrücken vermieden werden kann.

Feuchteschutz

Ein zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung ist bezüglich des Feuchteschutzes als unkritisch zu betrachten. Ein Nachweis nach DIN 4108-03 ist in der Regel nicht erforderlich. Es ist sicherzustellen, dass die Innenschale (Tragschale) winddicht ist. Die aufgrund von Winddruck durch das Vormauerwerk transportierte Regenwassermenge ist in der Regel gering und kann auf der Innenseite der Verblendschale ablaufen. Eine Entwässerung erfolgt durch im Sockelbereich angeordnete Entwässerungsöffnungen. Die eingedrungene Regenmenge stellt keine besondere Belastung für den Kerndämmstoff dar.

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Eine Kerndämmung bildet nicht zwangsläufig eine luftdichte Schicht, was auf die Anschlüsse an andere Bauteile, z.B. Fensterrahmen und konstruktionsbedingte Einbauteile wie Mauerwerksanker, zurückzuführen ist. Zudem handelt es sich bei nachträglich eingebrachter Kerndämmung meist um einblasfähige Materialien, die keine luftdichte Schicht ausbilden können. Die luftdichte Schicht wird z.B. durch eine intakte Innentragstruktur (z.B. Innenputz) gebildet.

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden.

Sommerlicher Wärmeschutz

Eine Kerndämmung wirkt sich, neben der Verbesserung des winterlichen Wärmschutzes, bei richtigem Nutzerverhalten in der Regel auch positiv auf die sommerlichen Raumtemperaturen aus, da sich durch den erhöhten Wärmedurchlasswiderstand der ertüchtigten Konstruktion die Außenwände durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmen. Des Weiteren nimmt eine Kerndämmung keinen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Außenwände und die Nutzung.

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Eine zweischalige Wandkonstruktion, bestehend aus zwei biegesteifen Schalen, besitzt bei einer körperschallbrückenfreien Ausführung ohnehin eine hohe Schalldämmung. Dementsprechend spielt es eher eine untergeordnete Rolle, ob der Schalenzwischenraum mit Luft oder mit einer Dämmschicht gefüllt ist. Eine nachträgliche Verfüllung des Zwischenraumes beeinflusst also die Schalldämmung nicht wesentlich, insgesamt kann jedoch tendenziell eine Verbesserung des Schallschutzes erzielt werden.

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Die brandschutztechnischen Eigenschaften von zweischaligen Außenwandkonstruktionen werden in erster Linie durch das Material der Dämmschicht bestimmt.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Ma 4.4

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Kerndämmung				27			27		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**164**	**256**	**347**	**19**	**14**	**8**	€/m²	Fassade

energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**336,3**	**62%**	**283,2**	**62%**	**151,3**	**42%**	**127,4**	**42%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	268,0	58%	225,7	58%	142,2	42%	119,8	42%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	432,9	63%	364,5	63%	175,3	41%	147,6	41%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**326,4**	**65%**	**340,3**	**65%**	**159,7**	**42%**	**134,5**	**42%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	260,5	51%	219,4	51%	138,4	35%	116,5	35%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	419,3	58%	353,1	58%	170,1	36%	143,2	36%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,5**	**0,2**	**4,2**	**0,2**	**7,8**	**0,4**	**9,3**	**0,5**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,8	0,3	3,4	0,4	5,4	0,6	6,4	0,7	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,7	0,1	4,4	0,1	9,2	0,2	10,9	0,3	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,6**	**0,1**	**4,7**	**0,1**	**10,1**	**0,2**	**12,0**	**0,3**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,9	0,3	3,5	0,4	5,5	0,6	6,5	0,8	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,8	0,1	4,6	0,1	9,5	0,2	11,3	0,3	ct/kWh	

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

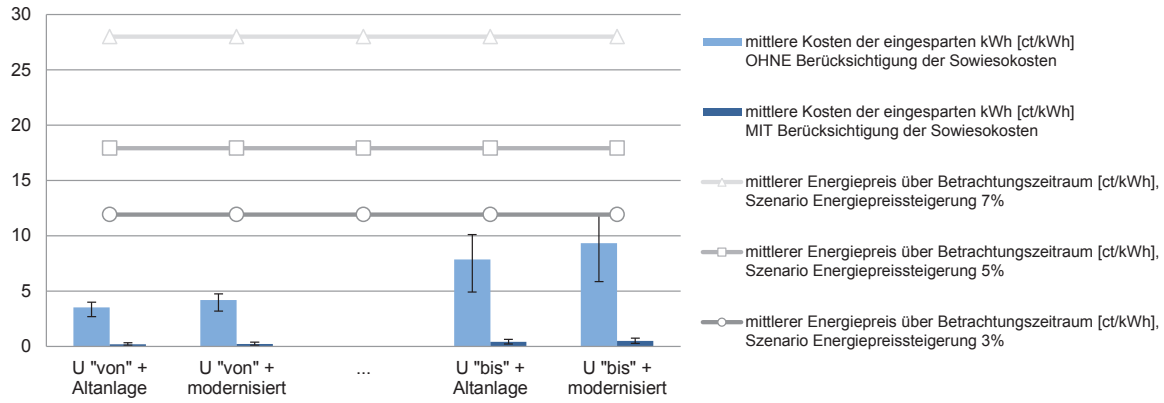
Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

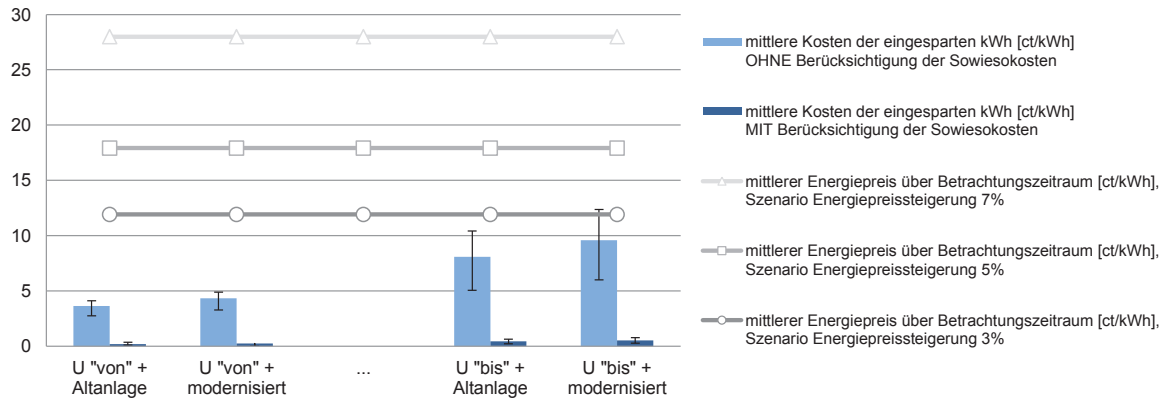
IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- **Kerndämmung**
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

AW-Ma 4.5

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

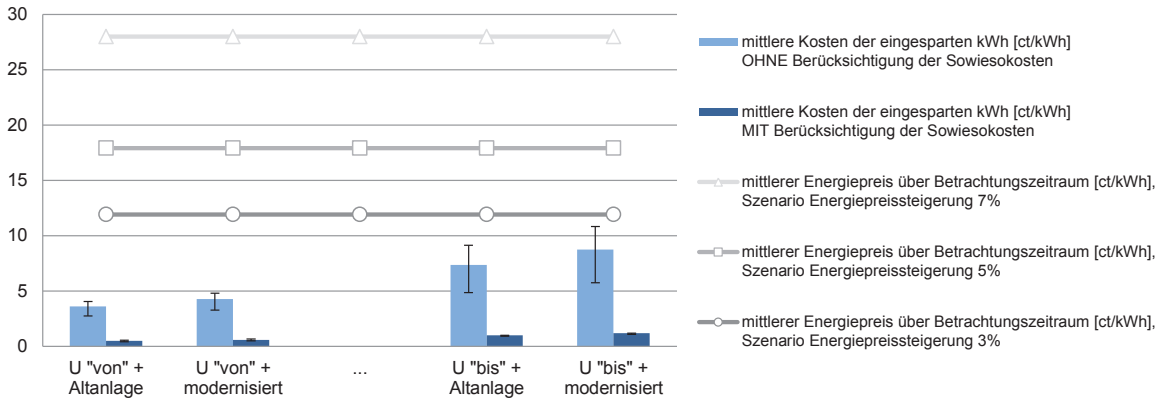
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- **Kerndämmung**
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Kerndämmung			27			27		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**178**	**279**	**380**	**33**	**37**	**42**	€/m²	Fassade

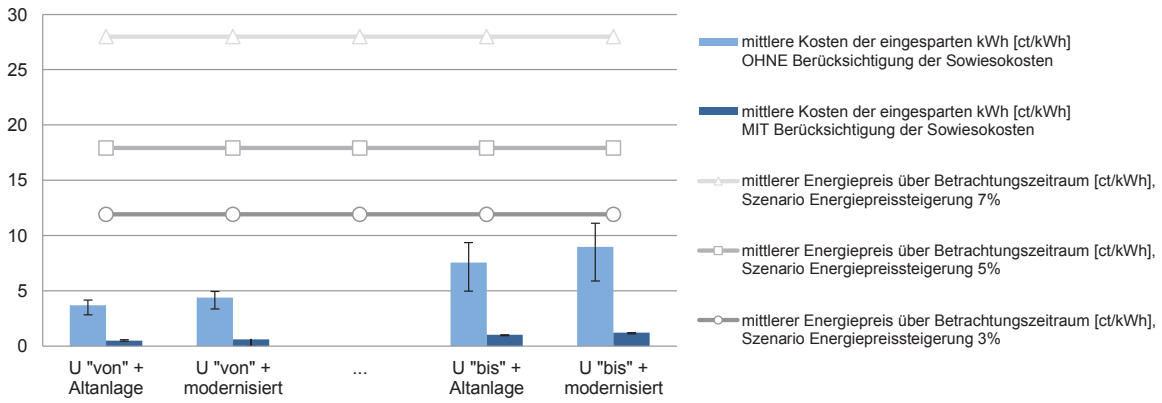
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**361,4**	**66%**	**304,4**	**66%**	**176,5**	**49%**	**148,6**	**49%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	283,9	61%	239,1	61%	159,4	47%	134,2	47%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	469,7	69%	395,5	69%	212,1	50%	178,6	50%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**351,4**	**70%**	**369,0**	**70%**	**193,8**	**51%**	**163,2**	**51%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	276,4	54%	232,7	54%	155,6	40%	131,0	40%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	455,6	63%	383,7	63%	206,3	44%	173,7	44%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,6**	**0,5**	**4,3**	**0,6**	**7,4**	**1,0**	**8,7**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	2,9	0,5	3,5	0,6	5,2	1,0	6,2	1,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,8	0,4	4,5	0,5	8,3	0,9	9,9	1,1	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,7**	**0,4**	**4,8**	**0,5**	**9,1**	**1,0**	**10,8**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	3,0	0,6	3,6	0,7	5,3	1,0	6,3	1,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,9	0,4	4,6	0,5	8,6	0,9	10,2	1,1	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

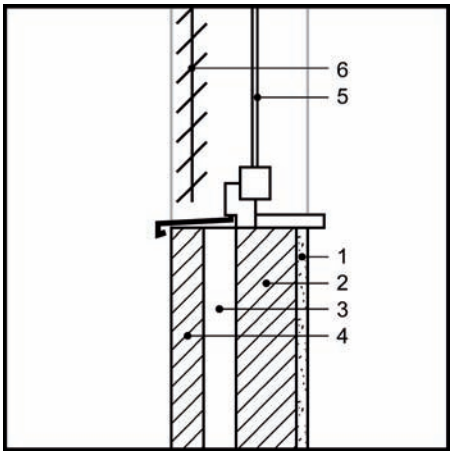


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

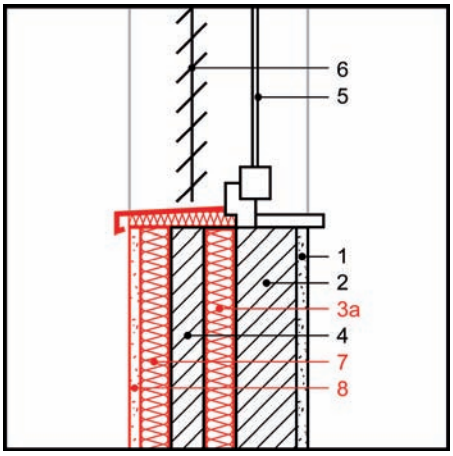
alt **Massivbauweise, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Kerndämmung und WDVS**

AW-Ma 5.1



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Innenputz, Bestand
2 Tragschale (Mauerwerk, Beton)
3 Luftschicht
3a Kerndämmung (neu)
4 Vormauerschale
5 Fenster
6 Sonnenschutz, Bestand
7 Wärmedämmung (neu)
8 Armierungsgewebe, Systemputz (neu)

System

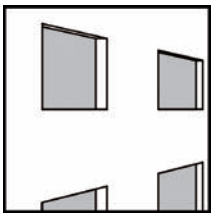
Zweischalige Außenwandkonstruktionen bestehen aus einer inneren Tragschale, einer Luftschicht und einer Verblendschale. Die Verblendschale wurde sowohl mit Putzschicht als auch unverputzt als Sichtmauerwerk erstellt. Durch Bohrlöcher, Lüftungsöffnungen oder herausgenommene Klinker wird ein loser wasserabweisender Dämmstoff (schütt- oder einblasbar) in den Hohlraum zwischen den Mauerwerksschalen eingebracht und verdichtet. Besonders geeignet sind Perlite, hydrophobierte Mineralfaserflocken oder -granulate und Polystyrol-Partikelschaum-Perlen. Zusätzlich werden Dämmplatten entweder vollflächig oder im Randwulst-Punkt-Verfahren mit Kleber oder Mörtel auf der äußeren Mauerwerksschale verklebt um eine Hinterströmung mit Außenluft zu vermeiden. Bei der Verwendung von Faserplatten als Dämmmaterial oder bei nicht genügend tragfähigem Untergrund ist eine zusätzliche Verdübelung der Dämmung notwendig. Die Anzahl der notwendigen Dübel und die jeweilige Verankerungstiefe richten sich nach dem vorhandenen Untergrund. Treten bei der Fassade starke Unebenheiten auf, werden Schienensysteme oder Spezialbefestigungen eingesetzt. Auf die Dämmung wird ein Unterputz mit Armierungsgewebe aufgebracht, der die Rissbildung durch thermische Spannungen verhindert. Nachdem der Armierungsputz abgebunden und trocken ist, erfolgt das Aufbringen einer Deckschicht (z.B. Putz, Riemchen o.Ä.), die je nach Farbe oder Körnung die spätere Optik bestimmt. Es dürfen nur komplette, bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme verwendet werden.

Vorteile

Durch die zusätzliche außenseitige Wärmedämmung mit einem WDVS können bestehende Wärmebrücken (z.B. im Bereich des Anschlusses an die Bodenplatte, Mauerwerksanker, einbindende Steine), auf die die alleinige Kerndämmmaßnahme keinen wesentlichen Einfluss hat, deutlich reduziert werden. Zusätzlich schützt die außenliegende Dämmung durch ein WDV-System den Wandaufbau vor thermischen Belastungen wie starker Aufheizung oder Abkühlung sowie vor Schlagregenbeanspruchung. Die Speichermasse der Wand bleibt erhalten, wodurch das sommerliche Raumklima begünstigt wird. Durch die Dämmmaßnahme können Zugerscheinungen von Öffnungen (z.B. Steckdosen, Fensterbänke etc.) reduziert werden. Die inneren Oberflächentemperaturen steigen an, wodurch die Gefahr von Schimmelpilzbildung vermindert wird.

Besonderheiten

Ist bei einer Maßnahme zur energetischen Verbesserung einer Außenwand aus Verblendmauerwerk eine optische Veränderung gewünscht und bestehen keine Auflagen bezüglich des Denkmalschutzes, bietet sich zusätzlich zu einer Dämmung des Hohlraumes die Anbringung einer Außendämmung an, wodurch die mögliche Dämm-



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 1,3 - 1,1 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,24 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Lochfassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

stärke auf ein energetisches Optimum erhöht werden kann. Aus bauphysikalischer Sicht sollte bei einer Außendämmmaßnahme von zweischaligem Mauerwerk auch immer der Fassadenzwischenraum gedämmt werden, denn es ist häufig nicht klar, ob aufgrund von versteckten Öffnungen oder Schlitzen in der Verblendschale eine Hinterlüftung vorhanden ist, wodurch sich die Dämmwirkung der von außen aufgebrachten Dämmung deutlich reduzieren würde. Durch die Verfüllung des Hohlraumes kann keine signifikante Hinterlüftung mehr stattfinden. Vor der Maßnahme ist zu prüfen, ob eine ausreichende Luftschicht vorhanden ist und es ist sicher zu stellen, dass die äußere Mauerwerksschale intakt, tragfähig und nicht durchfeuchtet ist. Eine lückenlose Verfüllung des Hohlraumes kann nicht immer garantiert werden.

Winterlicher Wärmeschutz

Wird bei einer Außenwand eine Dämmung von außen angebracht, fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 den U-Wert der Wand mit U ≤ 0,24 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie U ≤ 0,35 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Der Schalenzwischenraum wird üblicherweise vollständig mit Dämmstoff gefüllt. Für Wärmedämmverbundsysteme geeignete Dämmstoffe gibt es mit λ-Werten (Bemessungswert für die Wärmeleitfähigkeit) von 0,022 bis 0,050 W/(mK). Die standardisierten Materialstärken betragen je nach Einsatzart (Wandfläche, Fensterlaibung, etc.) zwischen 20 - 200 mm, meist mit Abstufungen von 20 mm. Bei der Festlegung der Plattendicke ist zu prüfen, ob für das gewählte System die gewünschte Dimensionierung zugelassen ist.

Wärmebrücken

Bestehende Wärmebrücken (z.B. im Bereich des Anschlusses an die Bodenplatte, Mauerwerksanker) können durch das WDV-System deutlich in ihrer Wirkung reduziert werden. Um Wärmebrücken zu vermeiden, darf die Dämmebene an den Anschlussstellen an andere Bauteile (Dach, Fenster, etc.) nicht unterbrochen werden. Die Wärmebrückenwirkung der Dübel des WDVS kann durch die Kerndämmung reduziert werden. Bei unbeheizten Kellern sollte die Außenwand 50 cm über die Kellerdeckeneinbindung nach unten hin gedämmt werden. Auf die Einhaltung des Spritzwasserbereichs am Boden von mindestens 30 cm ist zu achten.

Feuchteschutz

Für bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme und für zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung ist ein rechnerischer Nachweis zur Tauwasserbildung nach DIN 4108-3 nicht erforderlich. Durch die außenseitige Dämmschicht wird die Temperatur im Wandquerschnitt und somit auch an der inneren Bauteiloberfläche erhöht, wodurch bei fachgerechter Planung das Risiko des Tauwasserausfalls und die Gefahr von Schimmelbildung reduziert werden.

Luftdichtheit

Die zusätzliche Anbringung eines WDV-System bildet nicht zwangsläufig eine luftdichte Schicht, was auf die Anschlüsse an andere Bauteile, z.B. Fensterrahmen, und konstruktionsbedingte Einbauteile wie Mauerwerksanker, zurückzuführen ist. Zudem handelt es sich bei nachträglich eingebrachter Kerndämmung meist um einblasfähige Materialien, die keine luftdichte Schicht ausbilden können. Die luftdichte Schicht wird z.B. durch eine intakte Innentragstruktur (z.B. Innenputz) gebildet.

Sommerlicher Wärmeschutz

Die Maßnahme wirkt sich, neben der Verbesserung des winterlichen Wärmschutzes, bei richtigem Nutzerverhalten in der Regel auch positiv auf die sommerlichen Raumtemperaturen aus, da sich durch den erhöhten Wärmedurchlasswiderstand der ertüchtigten Konstruktion die Außenwände durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmen. Des Weiteren nimmt sowohl ein von außen angebrachtes WDV-System als auch eine Kerndämmung keinen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Außenwände und die Nutzung. Voraussetzung für akzeptable Innenraumtemperaturen ist jedoch das Vorhandensein eines Sonnenschutzes für die transparenten Bauteilflächen.

Schallschutz

Eine zweischalige Wandkonstruktion, bestehend aus zwei biegesteifen Schalen, besitzt bei einer körperschallbrückenfreien Ausführung ohnehin eine hohe Schalldämmung. Dementsprechend spielt es eher eine untergeordnete Rolle, ob der Schalenzwischenraum mit Luft oder mit einer Dämmschicht gefüllt ist. Je nach Wahl des Dämmstoffes kann tendenziell eher eine Verbesserung des Luftschallschutzes erzielt werden.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Die brandschutztechnischen Eigenschaften von zweischaligen Außenwandkonstruktionen werden in erster Linie durch das Material der Dämmschicht bestimmt. Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Ma 5.1

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

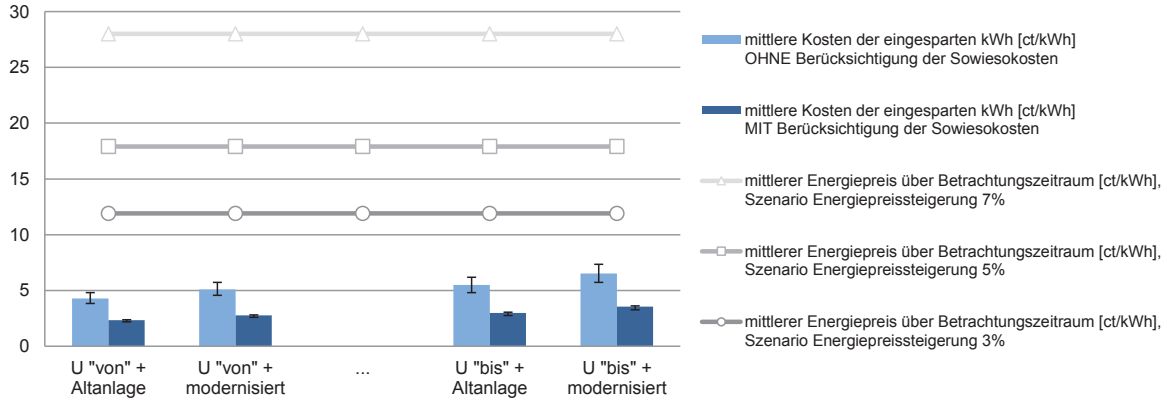
Maßnahme
- **WDVS**
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- **Kerndämmung**
- Fensteraustausch nach EnEV
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			12			0		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe			45			0		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Kerndämmung			27			27		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: WDVS (Mineralwolle)			55			55		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			-			-		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**101**	**76**	**50**	**57**	**41**	**25**	€/m²	Fassade

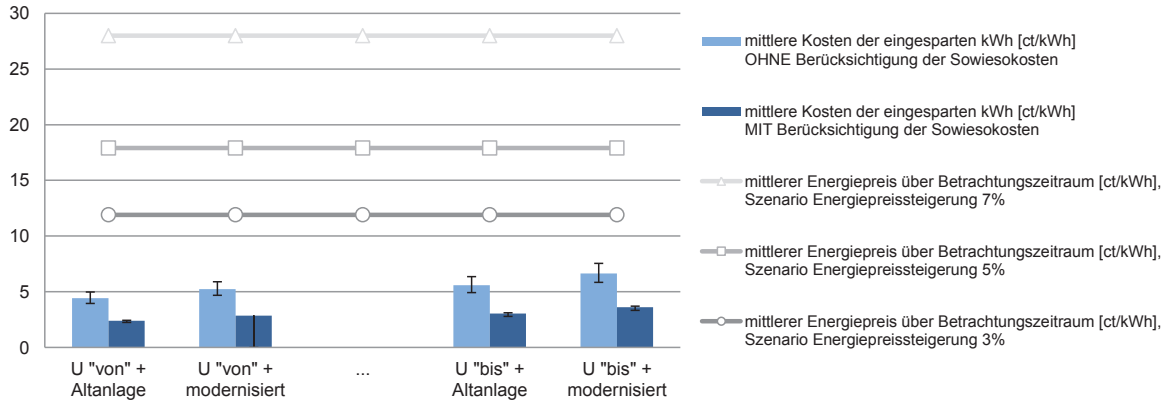
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	wie IST	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung								Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**82,0**	**15%**	**69,0**	**15%**	**64,0**	**18%**	**53,9**	**18%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	48,4	8%	40,8	8%	37,7	10%	31,8	10%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	122,3	24%	103,0	24%	97,5	26%	82,1	26%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**79,5**	**8%**	**41,3**	**8%**	**37,9**	**10%**	**31,9**	**10%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	46,8	7%	39,4	7%	36,6	9%	30,9	9%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	118,9	22%	100,2	22%	95,4	23%	80,4	23%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**2,3**	**5,1**	**2,8**	**5,5**	**3,0**	**6,5**	**3,5**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	4,8	2,4	5,7	2,8	6,2	3,0	7,3	3,6	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	3,8	2,2	4,6	2,6	4,8	2,7	5,7	3,2	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,4**	**2,3**	**5,6**	**2,8**	**6,1**	**3,0**	**7,3**	**3,6**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	5,0	2,4	5,9	2,9	6,4	3,1	7,5	3,7	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	3,9	2,2	4,7	2,7	4,9	2,8	5,8	3,3	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

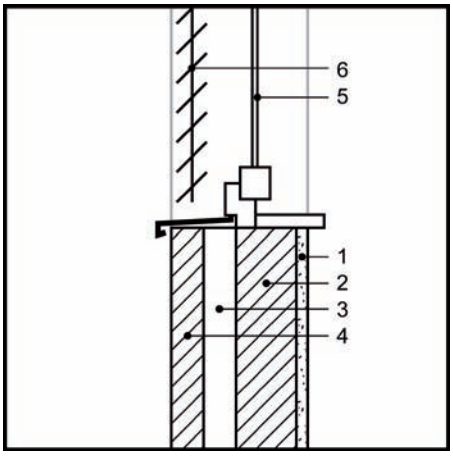


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

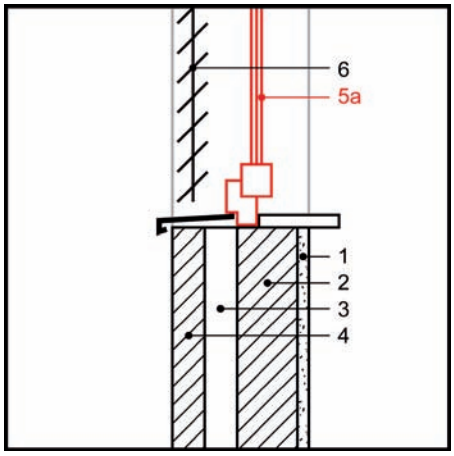
alt **Massivbauweise, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**

AW-Ma 5.2 / 5.3



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1	Innenputz, Bestand
2	Tragschale (Mauerwerk, Beton)
3	Luftschicht
4	Vormauerschale
5	Fenster
5a	Fenster, Wärmedämmglas (neu)
6	Sonnenschutz, Bestand

System

Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

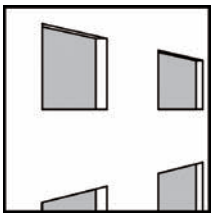
Sondergläser stellen nach Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 Schallschutzglas mit einem bewerteten Schalldämmmaß des Glases von $R_{w,R}$ > 40 dB, Sonderaufbauten zur Durchschuss-, Durchbruch- oder Sprengwirkungshemmung sowie Sonderaufbauten als Brandschutzglas dar.

Vorteile

Von besonderem energetischem und wirtschaftlichem Interesse für einen Austausch sind Fenster mit Einfachglas, die nach Einschätzungen des VFF noch einen Bestand von insgesamt etwa 25 Millionen Fenstereinheiten ausmachen. Neben der Einsparung von Heizenergie können bei sachgemäßer Ausführung Wärmebrücken reduziert sowie die Luftdichtheit verbessert werden. Bei Fassaden mit einem hohen Transparenzanteil kann durch die Reduzierung des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases (z.B. Sonnenschutzglas g = 0,35) der sommerliche Wärmeeintrag in den Innenraum verringert werden.

Besonderheiten

Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Viele der im Gebäudebestand vorhandenen Fenster können jedoch die heutigen Anforderungen nicht mehr erfüllen. Alte Fenster sind häufig undicht, wodurch der Luftaustausch mit der Außenluft unkontrolliert erfolgt. Im Winter geht dadurch eine erhebliche Menge an Heizenergie verloren. Durch den entstehenden Luftzug und niedrige Oberflächentemperaturen entsteht häufig ein Gefühl der Unbehaglichkeit und Zugerscheinungen im Innenraum. Auch ein mangelnder Schallschutz kann eine Ursache für eine notwendige Fenstersanierung sein. Eine Fenstersanierung erzeugt neben der Verbesserung dieser Aspekte auch eine weitgehende Luftdichtigkeit der Anschlussdetails, wodurch die Lüftungswärmeverluste zu reduziert werden.



Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas:	U_w = 5,0 W/(m²K) U_g = 5,8 W/(m²K) g = 0,87
Zweifachglas:	U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K) U_g = 2,9 W/(m²K) g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009

U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch:	U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas:	U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C) U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert

U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Lochfassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Soll das bestehende Fenster oder das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes, erhalten bleiben oder besitzt es historische, gut erhaltene Fenster, kann der Wärmschutz der Fenster durch das Anbringen eines zusätzlichen Glases von Innen verbessert werden. Bei dieser Konstruktionsart wird ein Einfachfenster nachträglich zum Kastenfenster aufgewertet. Das innere Fenster übernimmt primär die Wärme- und Schallschutzfunktion, während das alte, äußere Glas dem Witterungsschutz dient und die Optik erhalten bleibt. Es ist zudem der Einbau moderner Fenster als historische Nachbildung möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 stellt Mindestanforderungen an Fenster in bestehenden Gebäuden, falls diese ausgetauscht oder ersetzt werden. Der U_W-Wert der Fenster darf einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C betragen. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten keine Anforderungen. Die Anforderungen gelten jedoch nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme des vorgeschriebenen Glases ungeeignet ist. Wird ausschließlich das Glas eines Fensters ausgetauscht und ist die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahme aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn ein Glas mit einem U_g-Wert ≤ 1,3 W/(m²K) eingebaut wird. Darüber hinaus gelten spezielle Anforderungen bei Sondergläsern. Hier gilt ein maximaler U_W-Wert von 2,0 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Temperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 2{,}8$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Die Anforderungen gelten nicht bei Schaufenstern und Türanlagen aus Glas.

Wärmebrücken

Um Wärmebrücken zu reduzieren, kann fallspezifisch entschieden werden, bei einem Austausch das Fenster bündig zur Fassade zu setzen. Bei einer späteren Dämmmaßnahme können auf diese Weise die Wärmebrücken in den Fensterlaibungen und darüber hinaus die starke Zunahme der Laibungstiefen und somit die Entstehung von sogenannten „Schießscharten“ vermieden werden. Wird das Fenster nicht versetzt, ist bei der späteren Anbringung eines WDV-Systems auf die ausreichende Dämmung der Fensterlaibung zu achten.

Feuchteschutz

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anforderungen nach EnEV an die Fugendurchlässigkeit sind zu berücksichtigen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein ent-

sprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

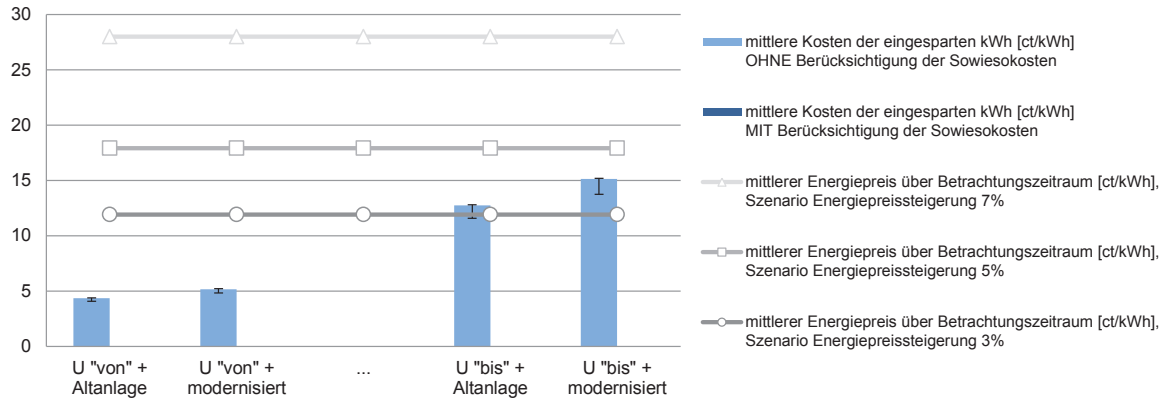
AW-Ma 5.2

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**145**	**242**	**339**	**0**	**0**	**0**	€/m²	Fassade

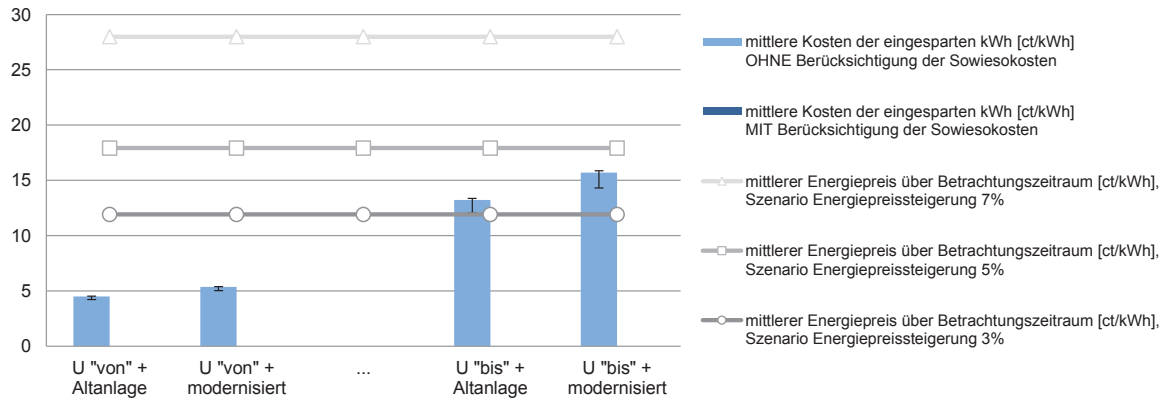
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**258,5**	**47%**	**217,6**	**47%**	**88,3**	**24%**	**74,4**	**24%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	156,0	34%	131,4	34%	53,0	16%	44,6	16%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	383,5	56%	323,0	56%	135,3	32%	114,0	32%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**249,9**	**57%**	**302,1**	**57%**	**123,0**	**32%**	**103,6**	**32%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	150,3	29%	126,6	29%	50,5	13%	42,6	13%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	370,7	51%	312,2	51%	130,7	28%	110,1	28%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,4**	**0**	**5,2**	**0**	**12,7**	**0**	**15,1**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,3	0	5,1	0	12,7	0	15,1	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0	4,9	0	11,6	0	13,8	0	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0**	**5,2**	**0**	**12,8**	**0**	**15,2**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,5	0	5,3	0	13,4	0	15,9	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0	5,0	0	12,0	0	14,3	0	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Ma 5.3

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

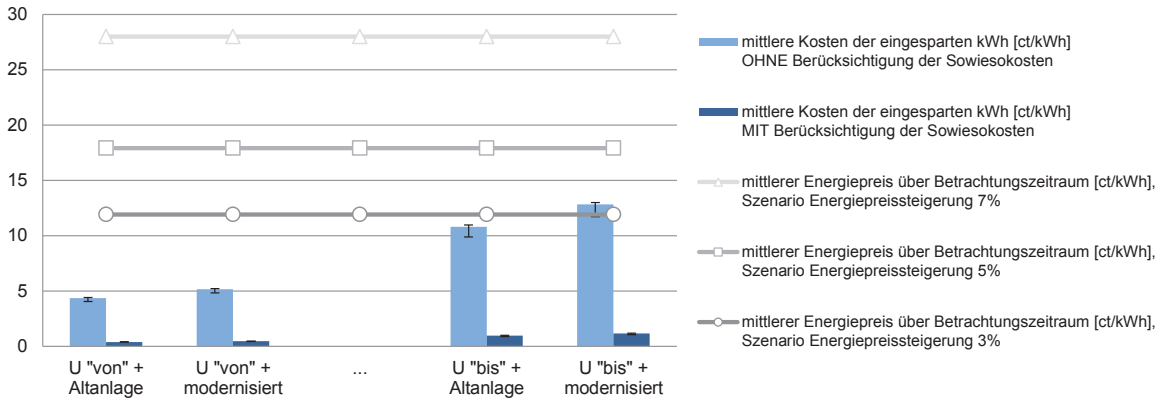
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			-			-		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**160**	**266**	**372**	**14**	**24**	**34**	€/m²	Fassade

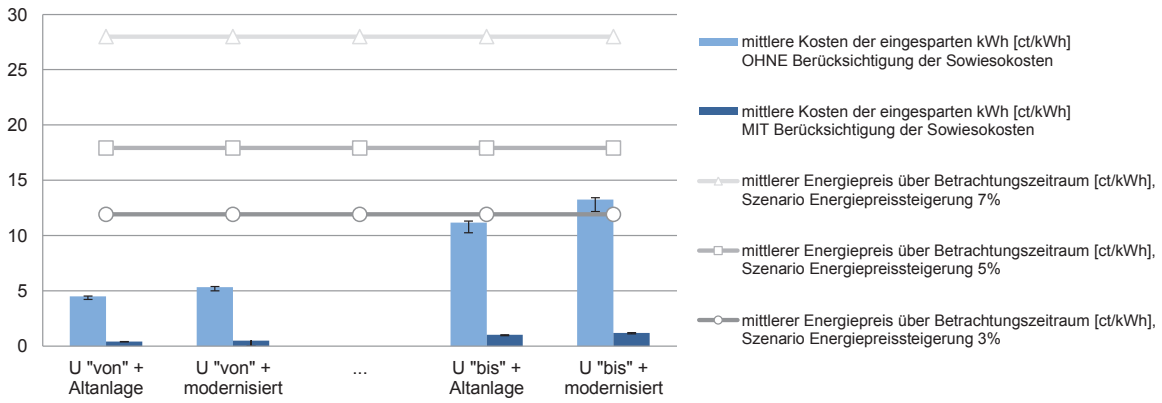
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung								Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**284,8**	**52%**	**239,8**	**52%**	**114,5**	**32%**	**96,4**	**32%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	172,5	37%	145,3	37%	69,3	20%	58,4	20%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	421,0	62%	354,6	62%	172,7	40%	145,4	40%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**275,7**	**63%**	**331,7**	**63%**	**158,0**	**41%**	**133,1**	**41%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	166,5	33%	140,2	33%	66,7	17%	56,2	17%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	407,6	57%	343,2	57%	167,4	36%	141,0	36%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten											
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0,4**	**5,2**	**0,5**	**10,8**	**1,0**	**12,8**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,3	0,4	5,1	0,5	10,7	1,0	12,7	1,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0,4	4,9	0,4	10,0	0,9	11,9	1,1	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0,4**	**5,2**	**0,5**	**10,9**	**1,0**	**13,0**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,5	0,4	5,3	0,5	11,1	1,0	13,2	1,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0,4	5,0	0,5	10,3	0,9	12,3	1,1	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



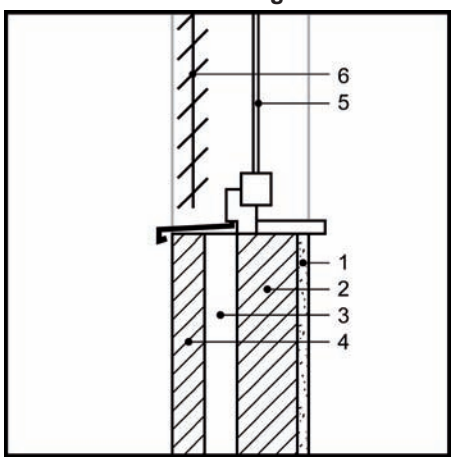
Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

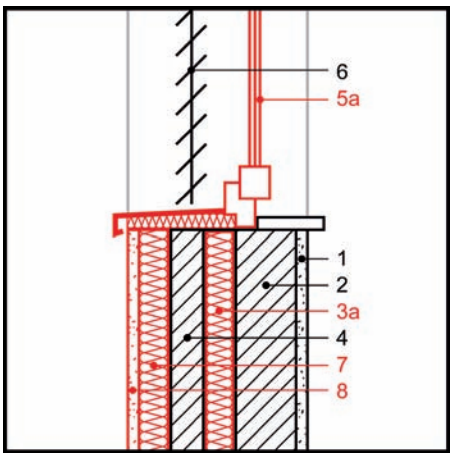
AW-Ma 5.4 / 5.5

alt **Massivbauweise, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt, Einfach- o. Isolierglas**



Ausgangssituation

neu **Kerndämmung und WDVS und Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**



Sanierungsmaßnahme

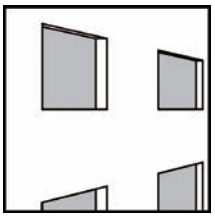
1 Innenputz, Bestand
2 Tragschale (Mauerwerk, Beton)
3 Luftschicht
3a Kerndämmung (neu)
4 Vormauerschale
5 Fenster
5a Fenster, Wärmedämmglas (neu)
6 Sonnenschutz, Bestand
7 Wärmedämmung (neu)
8 Armierungsgewebe, Systemputz (neu)

System

Zweischalige Außenwandkonstruktionen bestehen aus einer inneren Tragschale, einer Luftschicht und einer Verblendschale. Die Verblendschale wurde sowohl mit Putzschicht als auch unverputzt als Sichtmauerwerk erstellt. Durch Bohrlöcher, Lüftungsöffnungen oder herausgenommene Klinker wird ein loser wasserabweisender Dämmstoff (schütt- oder einblasbar) in den Hohlraum zwischen den Mauerwerksschalen eingebracht und verdichtet. Besonders geeignet sind Perlite, hydrophobierte Mineralfaserflocken oder -granulate und Polystyrol-Partikelschaum-Perlen. Zusätzlich werden Dämmplatten entweder vollflächig oder im Randwulst-Punkt-Verfahren mit Kleber oder Mörtel auf der äußeren Mauerwerksschale verklebt um eine Hinterströmung mit Außenluft zu vermeiden. Bei der Verwendung von Faserplatten als Dämmmaterial oder bei nicht genügend tragfähigem Untergrund ist eine zusätzliche Verdübelung der Dämmung notwendig. Die Anzahl der notwendigen Dübel und die jeweilige Verankerungstiefe richten sich nach dem vorhandenen Untergrund. Treten bei der Fassade starke Unebenheiten auf, werden Schienensysteme oder Spezialbefestigungen eingesetzt. Auf die Dämmung wird ein Unterputz mit Armierungsgewebe aufgebracht, der die Rissbildung durch thermische Spannungen verhindert. Nachdem der Armierungsputz abgebunden und trocken ist, erfolgt das Aufbringen einer Deckschicht (z.B. Putz, Riemchen o.Ä.), die je nach Farbe oder Körnung die spätere Optik bestimmt. Es dürfen nur komplette, bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme verwendet werden. Zusätzlich erfolgt in Kombination der Fensteraustausch. Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

Vorteile

Durch die zusätzliche außenseitige Wärmedämmung mit einem WDVS können bestehende Wärmebrücken (z.B. im Bereich des Anschlusses an die Bodenplatte, Mauerwerksanker, einbindende Steine), auf die die alleinige Kerndämmmaßnahme keinen wesentlichen Einfluss hat, deutlich reduziert werden. Zusätzlich schützt die außenliegende Dämmung durch ein WDV-System den Wandaufbau vor thermischen Belastungen wie starker Aufheizung oder Abkühlung sowie vor Schlagregenbeanspruchung. Die Speichermasse der Wand bleibt erhalten, wodurch das sommerliche Raumklima begünstigt wird. Durch die Dämmmaßnahme können Zugerscheinungen von Öffnungen (z.B. Steckdosen, Fensterbänke etc.) reduziert werden. Die inneren Oberflächentemperaturen steigen an, wodurch die Gefahr von Schimmelpilzbildung vermindert wird.



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 1,3 - 1,1 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,24 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas:	U_w = 5,0 W/(m²K)
	U_g = 5,8 W/(m²K)
	g = 0,87
Zweifachglas:	U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
	U_g = 2,9 W/(m²K)
	g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009
U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch:	U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas:	U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
	U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert
U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Lochfassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

Die Fenster können bei dieser Kombination mit einem relativ geringen Aufwand zur Dämmebene versetzt werden. Weitere Aufwendungen wie etwa Gerüststellung und Baustelleneinrichtung treten nur einmalig auf und machen das Vorhaben somit kostengünstiger. Ein weiterer Vorteil besteht in der guten Möglichkeit zur Integration eines Beschattungssystems. Außerdem kann bei einer Kombination der Maßnahmen der Durchführungszeitraum reduziert werden, da parallel verschiedene Gewerke gleichzeitig arbeiten. Somit kann die Nutzungsbeeinträchtigung, die in dieser Zeit durch Baulärm und ähnliche Störquellen entsteht, möglichst gering gehalten werden.

Besonderheiten

Ist bei einer Maßnahme zur energetischen Verbesserung einer Außenwand aus Verblendmauerwerk eine optische Veränderung gewünscht und bestehen keine Auflagen bezüglich des Denkmalschutzes, bietet sich zusätzlich zu einer Dämmung des Hohlraumes die Anbringung einer Außendämmung an, wodurch die mögliche Dämmstärke auf ein energetisches Optimum erhöht werden kann. Aus bauphysikalischer Sicht sollte bei einer Außendämmmaßnahme von zweischaligem Mauerwerk auch immer der Fassadenzwischenraum gedämmt werden, denn es ist häufig nicht klar, ob aufgrund von versteckten Öffnungen oder Schlitzen in der Verblendschale eine Hinterlüftung vorhanden ist, wodurch sich die Dämmwirkung der von außen aufgebrachten Dämmung deutlich reduzieren würde. Durch die Verfüllung des Hohlraumes kann keine signifikante Hinterlüftung mehr stattfinden. Vor der Maßnahme ist zu prüfen, ob eine ausreichende Luftschicht vorhanden ist und es ist sicher zu stellen, dass die äußere Mauerwerksschale intakt, tragfähig und nicht durchfeuchtet ist. Eine lückenlose Verfüllung des Hohlraumes kann nicht immer garantiert werden.

Durch den zusätzlichen Fensteraustausch können Anschlussdetails fachgerecht ausgeführt und Wärmebrücken reduziert werden. Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Das nachträgliche Anbringen einer Beschattung ist bei dieser Kombination einfach zu realisieren.

Winterlicher Wärmeschutz

Wird bei einer Außenwand eine Dämmung von außen angebracht, fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 den U-Wert der Wand mit $U \leq 0{,}24$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U \leq 0{,}35$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Der Schalenzwischenraum wird üblicherweise vollständig mit Dämmstoff gefüllt. Für Wärmedämmverbundsysteme geeignete Dämmstoffe gibt es mit λ-Werten (Bemessungswert für die Wärmeleitfähigkeit) von 0,022 bis 0,050 W/(mK). Die standardisierten Materialstärken betragen je nach Einsatzart (Wandfläche, Fensterlaibung, etc.) zwischen 20 - 200 mm, meist mit Abstufungen von 20 mm. Bei der Festlegung der Plattendicke ist zu prüfen, ob für das gewählte System die gewünschte Dimensionierung zugelassen ist. Für den Fensteraustausch gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der U_W-Wert der Fenster einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C nicht überschreitet, wenn das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird oder zusätzliche Vor- oder Innenfenster eingebaut werden. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, sofern die Stärke des Rahmenmaterials dies zulässt. Bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten hier keine Anforderungen. In Sonderfällen gelten weitere Anforderungen, die entweder der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 oder der Beschreibung der Einzelmaßnahme Fensteraustausch zu entnehmen sind.

Wärmebrücken

Bestehende Wärmebrücken (z.B. im Bereich des Anschlusses an die Bodenplatte, Mauerwerksanker) können durch das WDV-System deutlich in ihrer Wirkung reduziert werden. Um Wärmebrücken zu vermeiden, darf die Dämmebene an den Anschlussstellen an andere Bauteile (Dach, Fenster, etc.) nicht unterbrochen werden. Die Wärmebrückenwirkung der Dübel des WDVS kann durch die Kerndämmung reduziert werden. Bei unbeheizten Kellern sollte die Außenwand 50 cm über die Kellerdeckeneinbindung nach unten hin gedämmt werden. Auf die Einhaltung des Spritzwasserbereichs am Boden von mindestens 30 cm ist zu achten.

Durch den zusätzlichen Fensteraustausch ergibt sich der Vorteil, dass Wärmebrücken reduziert werden können, indem eine abgestimmte Gesamtplanung im Vorfeld vorgenommen wird. Es ist in der Regel wärmetechnisch sinnvoll, den Blendrahmen des Fensters mit dem Wärmedämmverbundsystem zu überdecken. Wird das Fenster beim Austausch nicht versetzt, ist es notwendig, die Dämmebene an den Anschlussstellen nicht unterbrechen zu lassen.

Feuchteschutz

Für bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme ist ein rechnerischer Nachweis zur Tauwasserbildung nach DIN 4108-3 nicht erforderlich. Durch die außenseitige Dämmschicht wird die Temperatur im Wandquerschnitt und somit auch an der inneren Bauteiloberfläche erhöht, wodurch bei fachgerechter Planung das Risiko des Tauwasserausfalls und die Gefahr von Schimmelbildung reduziert werden.

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Die Anbringung eines WDV-System bildet nicht zwangsläufig eine luftdichte Schicht, was auf die Anschlüsse an andere Bauteile, z.B. Fensterrahmen, und konstruktionsbedingte Einbauteile wie Mauerwerksanker, zurückzuführen ist. Zudem handelt es sich bei nachträglich eingebrachter Kerndämmung meist um einblasfähige Materialien, die keine luftdichte Schicht ausbilden können. Die luftdichte Schicht wird z.B. durch eine intakte Innentragstruktur (z.B. Innenputz) gebildet. Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anschlussproblematik zwischen Fenster und Wandbereich gestaltet sich im Regelfall bei der Kombination der Maßnahmen einfacher als bei zeitlich versetzter Durchführung der Einzelmaßnahmen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Die Maßnahme wirkt sich, neben der Verbesserung des winterlichen Wärmschutzes, bei richtigem Nutzerverhalten in der Regel auch positiv auf die sommerlichen Raumtemperaturen aus, da sich durch den erhöhten Wärmedurchlasswiderstand der ertüchtigten Konstruktion die Außenwände durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmen. Des Weiteren nimmt sowohl ein von außen angebrachtes WDV-System als auch eine Kerndämmung keinen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Außenwände und die Nutzung.

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Eine zweischalige Wandkonstruktion, bestehend aus zwei biegesteifen Schalen, besitzt bei einer körperschallbrückenfreien Ausführung ohnehin eine hohe Schalldämmung. Dementsprechend spielt es eher eine untergeordnete Rolle, ob der Schalenzwischenraum mit Luft oder mit einer Dämmschicht gefüllt ist. Je nach Wahl des Dämmstoffes kann tendenziell eher eine Verbesserung des Luftschallschutzes erzielt werden.

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems. Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Ma 5.4

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

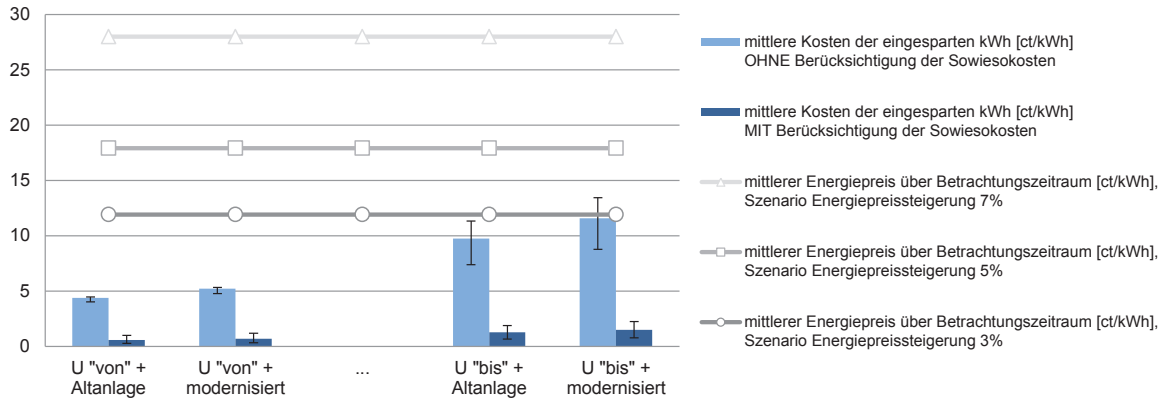
Maßnahme
- **WDVS**
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- **Kerndämmung**
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			12			0		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe			45			0		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Kerndämmung			27			27		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: WDVS (Mineralwolle)			55			55		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**246**	**318**	**389**	**57**	**41**	**25**	€/m²	Fassade

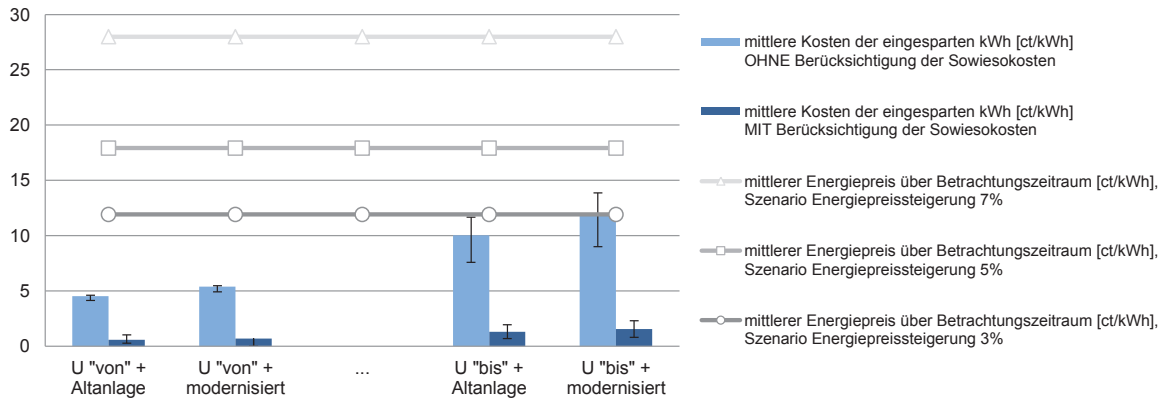
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**336,3**	**62%**	**283,2**	**62%**	**151,3**	**42%**	**127,4**	**42%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	268,0	58%	225,7	58%	142,2	42%	119,8	42%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	432,9	63%	364,5	63%	175,3	41%	147,6	41%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**326,4**	**65%**	**340,3**	**65%**	**159,7**	**42%**	**134,5**	**42%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	260,5	51%	219,4	51%	138,4	35%	116,5	35%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	419,3	58%	353,1	58%	170,1	36%	143,2	36%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,4**	**0,6**	**5,2**	**0,7**	**9,8**	**1,3**	**11,6**	**1,5**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	4,3	1,0	5,1	1,2	8,0	1,9	9,5	2,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0,3	5,0	0,3	10,3	0,7	12,2	0,8	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0,3**	**5,3**	**0,3**	**11,3**	**0,7**	**13,4**	**0,8**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	4,4	1,0	5,2	1,2	8,3	1,9	9,8	2,3	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,3	0,3	5,1	0,3	10,6	0,7	12,6	0,8	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

AW-Ma 5.5

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

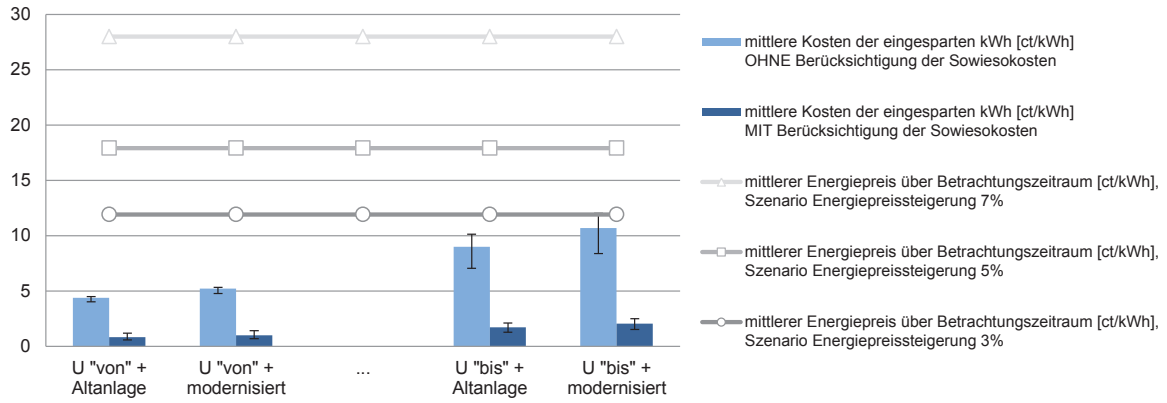
Maßnahme
- **WDVS**
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- **Kerndämmung**
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten			**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				12			0		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe				45			0		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Kerndämmung				27			27		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: WDVS (Mineralwolle)				55			55		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**260**	**341**	**422**	**72**	**65**	**58**	€/m²	Fassade

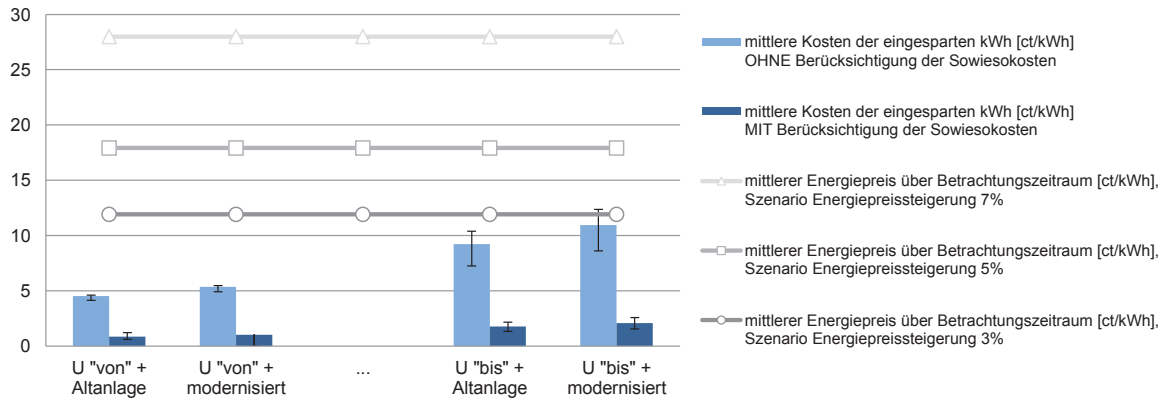
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**361,4**	**66%**	**304,4**	**66%**	**176,5**	**49%**	**148,6**	**49%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	283,9	61%	239,1	61%	159,4	47%	134,2	47%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	469,7	69%	395,5	69%	212,1	50%	178,6	50%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**351,4**	**70%**	**369,0**	**70%**	**193,8**	**51%**	**163,2**	**51%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	276,4	54%	232,7	54%	155,6	40%	131,0	40%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	455,6	63%	383,7	63%	206,3	44%	173,7	44%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,4**	**0,8**	**5,2**	**1,0**	**9,0**	**1,7**	**10,7**	**2,0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,3	1,2	5,1	1,4	7,6	2,1	9,0	2,5	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0,6	5,0	0,7	9,3	1,3	11,0	1,5	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0,6**	**5,3**	**0,7**	**10,1**	**1,4**	**12,0**	**1,7**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,4	1,2	5,2	1,4	7,8	2,1	9,2	2,5	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,3	0,6	5,1	0,7	9,5	1,3	11,3	1,6	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

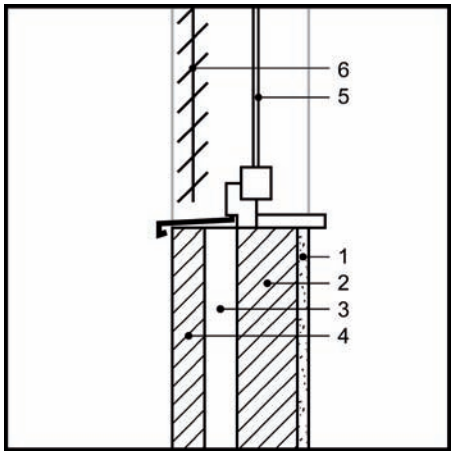


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

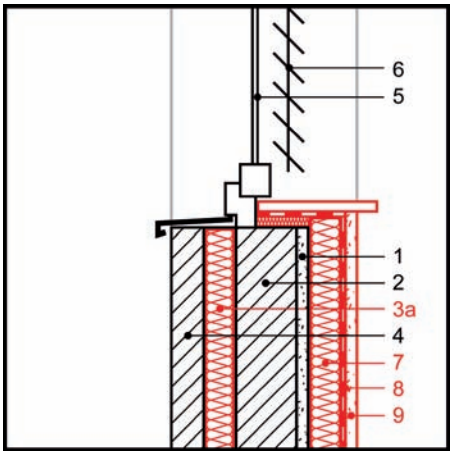
alt **Massivbauweise, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt, erhaltenswert, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Kerndämmung und Innendämmung**

AW-Ma 6.1



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Innenputz, Bestand
2 Tragschale (Mauerwerk, Beton)
3 Luftschicht
3a Kerndämmung (neu)
4 Vormauerschale
5 Fenster
6 Sonnenschutz, Bestand
7 Wärmedämmung (neu)
8 Dampfbremse bzw. -sperre (neu)
9 Innenputz (neu)

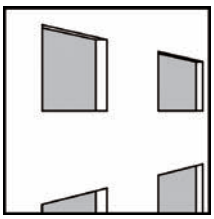
System

Zweischalige Außenwandkonstruktionen bestehen aus einer inneren Tragschale, einer Luftschicht und einer Verblendschale. Die Verblendschale wurde sowohl mit Putzschicht als auch unverputzt als Sichtmauerwerk erstellt. Durch Bohrlöcher, Lüftungsöffnungen oder herausgenommene Klinker wird ein loser wasserabweisender Dämmstoff (schütt- oder einblasbar) in den Hohlraum zwischen den Mauerwerksschalen eingebracht und verdichtet. Besonders geeignet sind Perlite, hydrophobierte Mineralfaserflocken oder -granulate und Polystyrol-Partikelschaum-Perlen.

Zusätzlich werden auf der Innenseite der Außenwand Dämmplatten aufgeklebt oder gedübelt. Der Untergrund muss entsprechend dem verwendeten System ausreichend eben sein, ggf. muss mit Ausgleichsschichten nachgebessert werden. Je nach Wahl des Dämmstoffes ist entsprechend eine (feuchteadaptive) Dampfbremse raumseitig der Dämmung anzuordnen (Angaben des Systemherstellers beachten!). Bei Verwendung feuchteunempfindlicher oder kapillaraktiver Dämmstoffe (z.B. Kalziumsilikatplatten) wird keine Dampfbremse angeordnet. Bei der Ausführung muss jedoch darauf geachtet werden, dass das Plattenmaterial bündig/kraftschlüssig mit der Bestandskonstruktion angebracht wird, um eine Hinterströmung mit Raumluft zu vermeiden und den Feuchttransport über die Konstruktion auch nach außen zu ermöglichen. Produktabhängig kann die Dämmung entweder direkt verputzt werden (Verbundelement mit integrierter Dampfbremse) oder es wird eine selbsttragende Vorsatzschale auf einer Unterkonstruktion aufgebracht, in der ggf. Installationen geführt werden können. Alternativ kann der Konstruktionsaufbau durch den Einsatz von Vakuumdämmung (VIP) mit einem sehr hohen Wärmedurchlasswiderstand deutlich reduziert werden. Allerdings liegen die Kosten hierfür deutlich über denen konventioneller Dämmstoffe. Zudem sind Nutzungsspezifika zu berücksichtigen, da die VIP durch Dekorationsmaßnahmen (Bildaufhänger, Regale, etc.) beschädigt und ihrer Funktionsweise beeinträchtigt werden können. Dies gilt teilweise auch für die anderen Dämmsysteme bzw. -stoffe, hier sind die Angaben des Systemherstellers unbedingt zu beachten.

Vorteile

Bei dieser Maßnahme bleibt das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes erhalten. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn Fassaden erhaltenswert sind oder unter Denkmalschutz stehen. Die Anbringung einer Innendämmung ist witterungsunabhängig, es ist in der Regel kein Gerüst erforderlich. Darüber hinaus kann die Maßnahme raumweise durchgeführt werden, wodurch die Möglichkeit besteht, bei einer detaillierten Vorplanung interne Nutzungsabläufe nur geringfügig zu stören. Durch die zusätzliche Kerndämmung können die durch eine Innendämmmaßnahme induzierten Wärmebrücken kompensiert werden. Auch hier ist die Nutzungsbeeinträchtigung während der Sanierung relativ gering.



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 1,3 - 1,1 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,35 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Lochfassade erhaltenswert.

Besonderheiten

Besonders ältere Gebäude sind häufig erhaltenswert, ihre Fassaden sind stadtbildprägend oder sie stehen ganzheitlich unter Denkmalschutz. Bei zweischaligen Außenwandkonstruktionen mit Luftschicht bietet sich aus diesem Grund zusätzlich zur nachträglichen Dämmung des Fassadenzwischenraums zur weiteren Verbesserung der energetischen Qualität der Außenwand eine Innendämmmaßnahme an. Bei einer Innendämmmaßnahme bestehen aus wärmeschutztechnischer Sicht grundsätzlich keine Nachteile, wenn der vorhandene Hohlraum nicht gedämmt wird. Jedoch sollte beachtet werden, dass sich durch eine Verfüllung des Hohlraums die Stärke der Innendämmung reduzieren ließe. Vorab ist zu prüfen, ob eine ausreichende Luftschicht vorhanden ist und es ist sicher zu stellen, dass die äußere Mauerwerksschale intakt, tragfähig und die Tragschale nicht durchfeuchtet ist. Eine lückenlose Verfüllung des Hohlraumes kann nicht immer garantiert werden.

Innendämmungen reduzieren den Wärmedurchgang durch die Gebäudehülle nicht im gleichen Maß, wie es bei Außendämmungen der Fall ist, da üblicherweise geringere Dämmstärken eingesetzt werden und die Verluste über Wärmebrücken überproportional zunehmen können. Durch die zusätzliche Kerndämmung können diese jedoch abgemildert werden. Darüber hinaus sind die in der Tragschale geführten Installationsleitungen besser vor Frostgefahr geschützt. Darüber hinaus ist zu beachten, dass sich die Raumfläche reduziert. Außerdem ist eine Befestigung von Bauteilen, z.B. Regalen, erschwert oder wegen der Durchdringung der Dämmschicht ggf. sogar unzulässig.

Winterlicher Wärmeschutz

Beim Einbau innenraumseitiger Dämmschichten fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 einen U-Wert der Wand von U ≤ 0,35 W/ (m²K). Der Schalenzwischenraum wird üblicherweise vollständig mit Dämmstoff gefüllt. Durch die zusätzliche Kerndämmung können U-Werte von etwa 0,23 W/(m²K) erreicht werden.

Wärmebrücken

Kern- und Innendämmmaßnahme in Kombination besitzen bezüglich der Wärmebrückenwirkung einen positiven Einfluss aufeinander. Zum einen können bestehende Wärmebrücken (z.B. im Bereich des Anschlusses an die Bodenplatte, Mauerwerksanker, einbindende Steine) durch die zusätzliche innenseitige Dämmung reduziert werden, zum anderen können durch die Kerndämmung die durch eine Innendämmmaßnahme auftretenden Wärmebrücken (z.B. einbindende Innenwände, Geschossdecken) gemindert werden. Die Laibungen bei nicht in der Dämmebene sitzenden Öffnungen sind zur Reduzierung von Transmissionswärmeverlusten sowie feuchtetechnischen Problemen möglichst mit einem mind. 1 cm starken Dämmstoffstreifen zu dämmen. Auch die Anschlussbereiche der Außenwand an erdgeschossige Bodenplatten oder Kellerdecken stellen Wärmebrücken dar. Abhängig von der Bestandssituation kann die Dämmebene bis unterhalb der einbindenden Deckenplatte weitergeführt werden.

Feuchteschutz

Besonders im Nichtwohngebäudebereich sind in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung geringere Feuchtelasten als bei den Wohngebäuden zu erwarten. Ein zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung ist bezüglich des Feuchteschutzes als unkritisch zu betrachten. Bei einer Innendämmung der Außenwand wird bei niedrigen Außenlufttemperaturen i.d.R. die Taupunkttemperatur innerhalb der Konstruktion unterschritten. Um einen Feuchteeintrag über Diffusion auf einen unkritischen Wert zu reduzieren, muss der Transport von Wasserdampf aus der Raumluft in die Konstruktion durch den Einbau einer Dampfbremse verhindert werden. Als Alternative zu herkömmlichen Folienprodukten werden auch sogenannte feuchteadaptive Dampfbremsen angeboten. Kommen kapillarleitende Dämmstoffe (z.B. Kalziumsilikatplatten) zur Anwendung oder erfolgt die Innendämmung mit diffusionsdichten Dämmstoffen (z.B. Schaumglasplatten), kann in der Regel auf eine Dampfbremse verzichtet werden.

Um Bauschäden zu vermeiden, sollte die Vorplanung einer Innendämmung jedoch immer durch einen Fachmann erfolgen. In Abhängigkeit von den nutzungsbedingten raumklimatischen Bedingungen und des Zustands der Konstruktion kann eine hygrothermische Simulation sinnvoll sein.

Luftdichtheit

Auf eine luftdichte Ausführung ist unbedingt zu achten. Luftdichtheitsschichten können aus Folien hergestellt werden, die, wenn sie einen ausreichend hohen s_d-Wert besitzen, gleichzeitig als Dampfbremse wirksam sind. Eine Luftdichtheitsschicht kann darüber hinaus aber auch aus plattenförmigen Bekleidungen (z.B. Gipskarton- oder Gipsfaserplatten) oder einem Innenputz bestehen. Wichtig ist dabei, die systembedingten Stöße bei Plattenwerkstoffen luftdicht zu verschließen. Es ist auf die fachgerechte Ausführung von Anschlüssen (z.B. Fensterlaibung, angrenzende Bauteile) und Installationsdurchführungen (z. B. Steckdosen) zu achten.

Sommerlicher Wärmeschutz

Durch die Anbringung einer Innendämmung wird die Speichermasse der massiven Wand tendenziell verringert. Ausreichende Speichermasse in Gebäuden ist erforderlich, um Temperaturschwankungen innerhalb eines Gebäudes zu glätten und somit zur thermischen Stabilisierung beizutragen. Es besteht die Möglichkeit, mit einem Latentspeichermaterial (PCM) nachzurüsten. Das Material kann durch die Integration in eine Spachtelmasse oder eine Platte wie jedes konventionelle Bauprodukt verwendet werden. Voraussetzung für akzeptable Innenraumtemperaturen ist in jedem Fall das Vorhandensein eines Sonnenschutzes für die transparenten Bauteilflächen.

Schallschutz

Eine zweischalige Wandkonstruktion, bestehend aus zwei biegesteifen Schalen, besitzt bei einer körperschallbrückenfreien Ausführung ohnehin eine hohe Schalldämmung. Dementsprechend spielt es eher eine untergeordnete Rolle, ob der Schalenzwischenraum mit Luft oder mit einer Dämmschicht gefüllt ist. Je nach Wahl des Dämmstoffes kann tendenziell eher eine Verbesserung des Luftschallschutzes erzielt werden. Allerdings kann bei der Verwendung von Dämmstoffen mit hoher dynamischer Steifigkeit (z.B. Polystyrol-Hartschaumplatten) aufgrund von Flankenübertragungseffekten und Resonanzen im hörbaren Bereich eine Verschlechterung des Schallschutzes zu angrenzenden Räumen hervorrufen werden.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Die brandschutztechnischen Eigenschaften von zweischaligen Außenwandkonstruktionen werden in erster Linie durch das Material der Dämmschicht bestimmt. Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der

Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Ma 6.1

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Kerndämmung				27			27		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: Innendämmung				199			199		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				-			-		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**158**	**113**	**68**	**158**	**113**	**68**	€/m²	Fassade

energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	0,35	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	wie IST	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**72,4**	**14%**	**61,0**	**14%**	**54,6**	**16%**	**46,0**	**16%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	41,6	8%	35,1	8%	30,6	10%	25,7	10%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	109,7	22%	92,4	22%	85,1	23%	71,7	23%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**70,3**	**7%**	**36,4**	**7%**	**32,2**	**9%**	**27,1**	**9%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	40,3	7%	34,0	7%	30,1	8%	25,4	8%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	106,7	19%	89,8	19%	83,3	20%	70,2	20%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**7,3**	**7,3**	**8,6**	**8,6**	**9,6**	**9,6**	**11,4**	**11,4**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	7,6	7,6	9,0	9,0	10,3	10,3	12,2	12,2	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	6,7	6,7	8,0	8,0	8,6	8,6	10,3	10,3	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**7,5**	**7,3**	**8,6**	**8,6**	**9,8**	**9,8**	**11,6**	**11,6**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	7,8	7,8	9,3	9,3	10,5	10,5	12,4	12,4	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	6,9	6,9	8,2	8,2	8,8	8,8	10,5	10,5	ct/kWh	

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

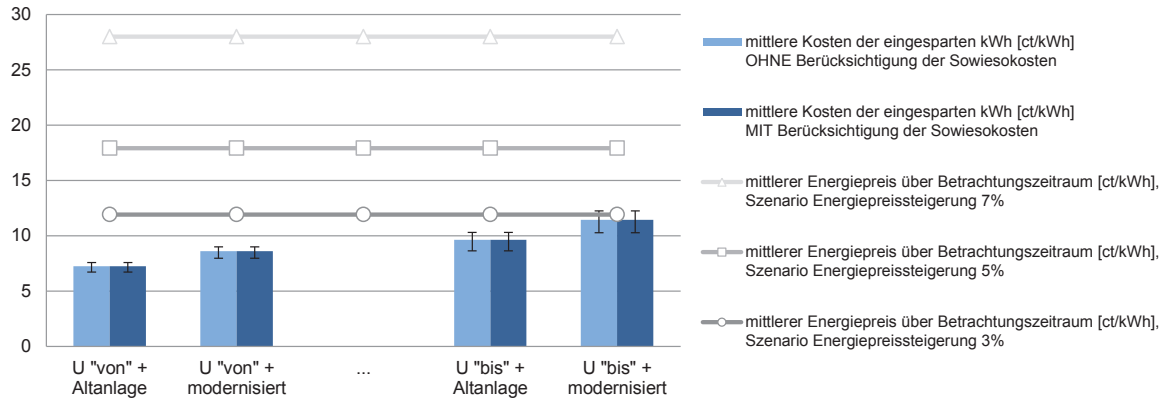
Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

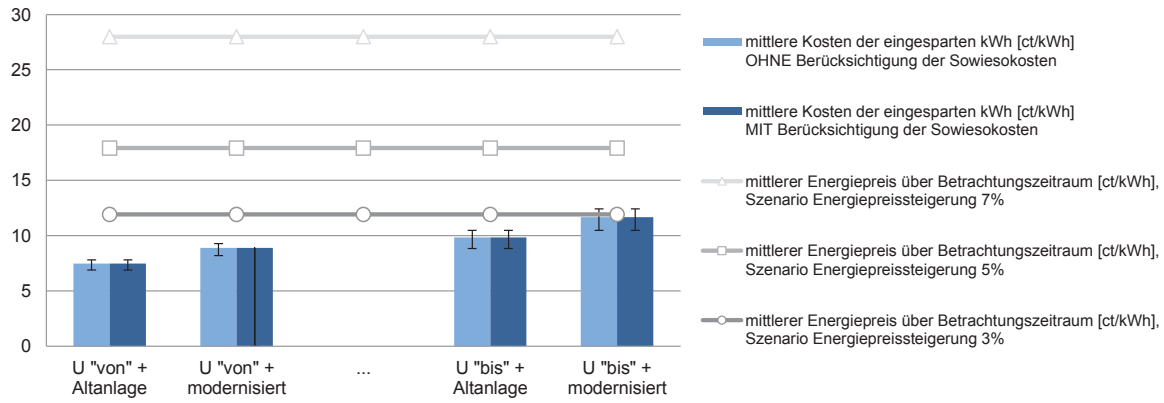
IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- **Innendämmung**
- **Kerndämmung**
- Fensteraustausch nach EnEV
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

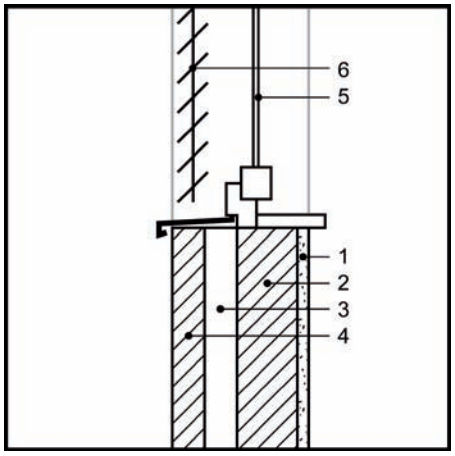


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

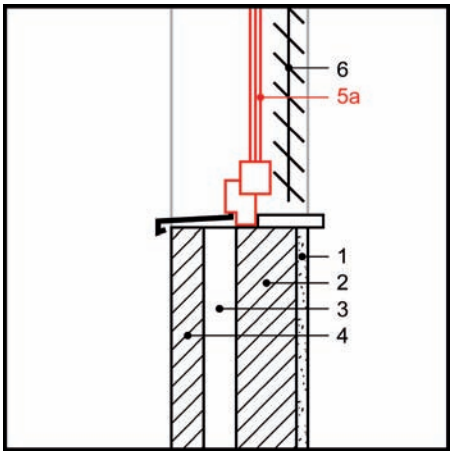
alt **Massivbauweise, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt, erhaltenswert, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**

AW-Ma 6.2 / 6.3



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Innenputz, Bestand
2 Tragschale (Mauerwerk, Beton)
3 Luftschicht
4 Vormauerschale
5 Fenster
5a Fenster, Wärmedämmglas (neu)
6 Sonnenschutz, Bestand

System

Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

Sondergläser stellen nach Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 Schallschutzglas mit einem bewerteten Schalldämmmaß des Glases von $R_{w,R}$ > 40 dB, Sonderaufbauten zur Durchschuss-, Durchbruch- oder Sprengwirkungshemmung sowie Sonderaufbauten als Brandschutzglas dar.

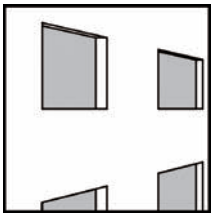
Vorteile

Von besonderem energetischem und wirtschaftlichem Interesse für einen Austausch sind Fenster mit Einfachglas, die nach Einschätzungen des VFF noch einen Bestand von insgesamt etwa 25 Millionen Fenstereinheiten ausmachen. Neben der Einsparung von Heizenergie können bei sachgemäßer Ausführung Wärmebrücken reduziert sowie die Luftdichtheit verbessert werden. Bei Fassaden mit einem hohen Transparenzanteil kann durch die Reduzierung des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases (z.B. Sonnenschutzglas g = 0,35) der sommerliche Wärmeeintrag in den Innenraum verringert werden.

Besonderheiten

Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Viele der im Gebäudebestand vorhandenen Fenster können jedoch die heutigen Anforderungen nicht mehr erfüllen. Alte Fenster sind häufig undicht, wodurch der Luftaustausch mit der Außenluft unkontrolliert erfolgt. Im Winter geht dadurch eine erhebliche Menge an Heizenergie verloren. Durch den entstehenden Luftzug und niedrige Oberflächentemperaturen entsteht häufig ein Gefühl der Unbehaglichkeit und Zugerscheinungen im Innenraum. Auch ein mangelnder Schallschutz kann eine Ursache für eine notwendige Fenstersanierung sein. Eine Fenstersanierung erzeugt neben der Verbesserung dieser Aspekte auch eine weitgehende Luftdichtigkeit der Anschlussdetails, wodurch die Lüftungswärmeverluste zu reduziert werden.

Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelpro-



Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas: U_w = 5,0 W/(m²K)
U_g = 5,8 W/(m²K)
g = 0,87

Zweifachglas: U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
U_g = 2,9 W/(m²K)
g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009

U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch: U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas: U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert

U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Lochfassade erhaltenswert.

file, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Soll das bestehende Fenster oder das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes, erhalten bleiben oder besitzt es historische, gut erhaltene Fenster, kann der Wärmschutz der Fenster durch das Anbringen eines zusätzlichen Glases von Innen verbessert werden. Bei dieser Konstruktionsart wird ein Einfachfenster nachträglich zum Kastenfenster aufgewertet. Das innere Fenster übernimmt primär die Wärme- und Schallschutzfunktion, während das alte, äußere Glas dem Witterungsschutz dient und die Optik erhalten bleibt. Es ist zudem der Einbau moderner Fenster als historische Nachbildung möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 stellt Mindestanforderungen an Fenster in bestehenden Gebäuden, falls diese ausgetauscht oder ersetzt werden. Der U_W-Wert der Fenster darf einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C betragen. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten keine Anforderungen. Die Anforderungen gelten jedoch nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme des vorgeschriebenen Glases ungeeignet ist. Wird ausschließlich das Glas eines Fensters ausgetauscht und ist die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahme aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn ein Glas mit einem U_g-Wert ≤ 1,3 W/(m²K) eingebaut wird. Darüber hinaus gelten spezielle Anforderungen bei Sondergläsern. Hier gilt ein maximaler U_W-Wert von 2,0 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Temperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 2{,}8$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Die Anforderungen gelten nicht bei Schaufenstern und Türanlagen aus Glas.

Wärmebrücken

Um Wärmebrücken zu reduzieren, kann fallspezifisch entschieden werden, bei einem Austausch das Fenster bündig zur Fassade zu setzen. Bei einer späteren Dämmmaßnahme können auf diese Weise die Wärmebrücken in den Fensterlaibungen und darüber hinaus die starke Zunahme der Laibungstiefen und somit die Entstehung von sogenannten „Schießscharten“ vermieden werden. Wird das Fenster nicht versetzt, ist bei der späteren Anbringung eines WDV-Systems auf die ausreichende Dämmung der Fensterlaibung zu achten.

Feuchteschutz

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anforderungen nach EnEV an die Fugendurchlässigkeit sind zu berücksichtigen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

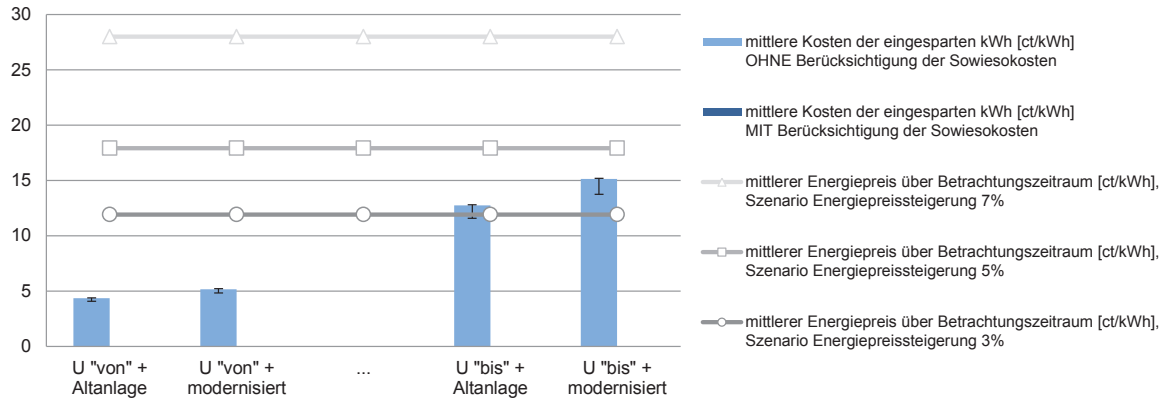
AW-Ma 6.2

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**145**	**242**	**339**	**0**	**0**	**0**	€/m²	Fassade

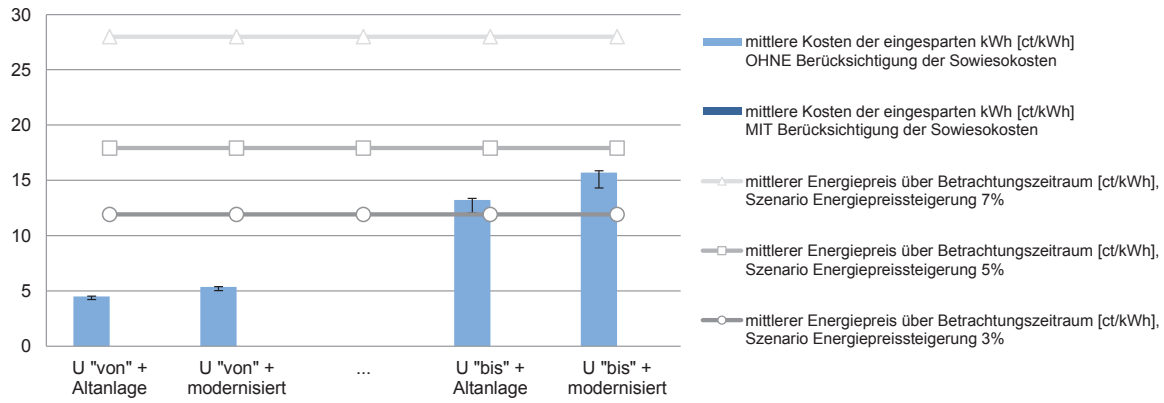
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**258,5**	**47%**	**217,6**	**47%**	**88,3**	**24%**	**74,4**	**24%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	156,0	34%	131,4	34%	53,0	16%	44,6	16%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	383,5	56%	323,0	56%	135,3	32%	114,0	32%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**249,9**	**57%**	**302,1**	**57%**	**123,0**	**32%**	**103,6**	**32%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	150,3	29%	126,6	29%	50,5	13%	42,6	13%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	370,7	51%	312,2	51%	130,7	28%	110,1	28%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,4**	**0**	**5,2**	**0**	**12,7**	**0**	**15,1**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,3	0	5,1	0	12,7	0	15,1	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0	4,9	0	11,6	0	13,8	0	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0**	**5,2**	**0**	**12,8**	**0**	**15,2**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,5	0	5,3	0	13,4	0	15,9	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0	5,0	0	12,0	0	14,3	0	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Ma 6.3

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

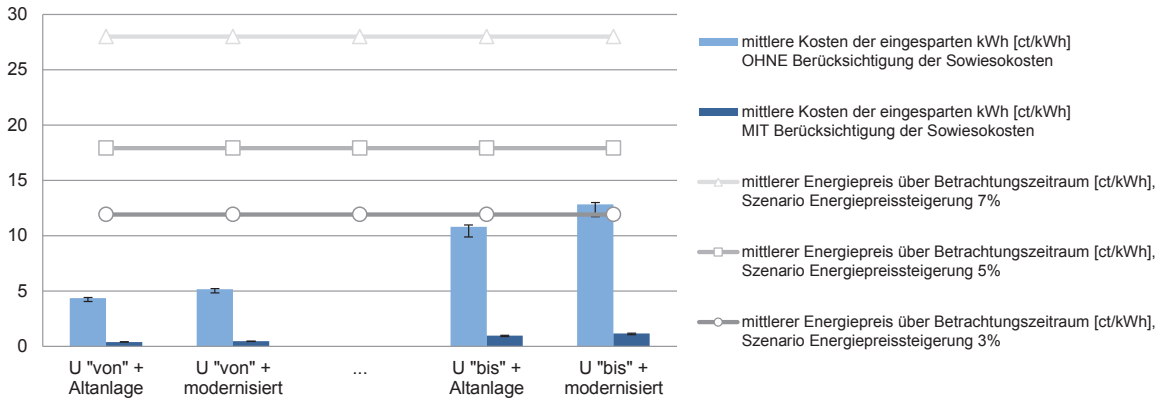
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**160**	**266**	**372**	**14**	**24**	**34**	€/m²	Fassade

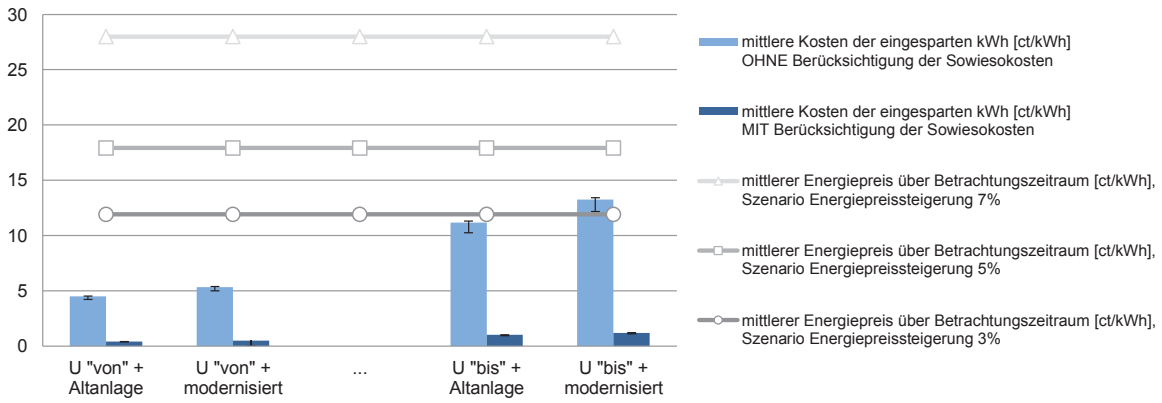
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung								Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**284,8**	**52%**	**239,8**	**52%**	**114,5**	**32%**	**96,4**	**32%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	172,5	37%	145,3	37%	69,3	20%	58,4	20%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	421,0	62%	354,6	62%	172,7	40%	145,4	40%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**275,7**	**63%**	**331,7**	**63%**	**158,0**	**41%**	**133,1**	**41%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	166,5	33%	140,2	33%	66,7	17%	56,2	17%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	407,6	57%	343,2	57%	167,4	36%	141,0	36%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0,4**	**5,2**	**0,5**	**10,8**	**1,0**	**12,8**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,3	0,4	5,1	0,5	10,7	1,0	12,7	1,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0,4	4,9	0,4	10,0	0,9	11,9	1,1	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0,4**	**5,2**	**0,5**	**10,9**	**1,0**	**13,0**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,5	0,4	5,3	0,5	11,1	1,0	13,2	1,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0,4	5,0	0,5	10,3	0,9	12,3	1,1	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

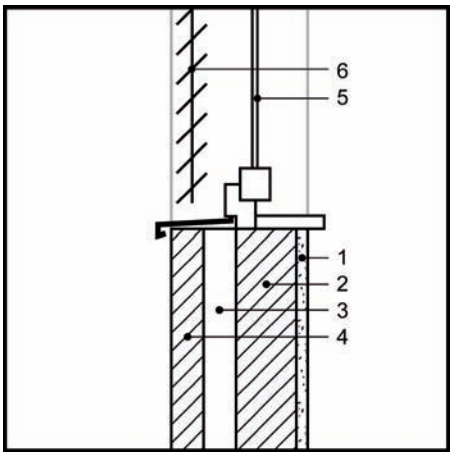


Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



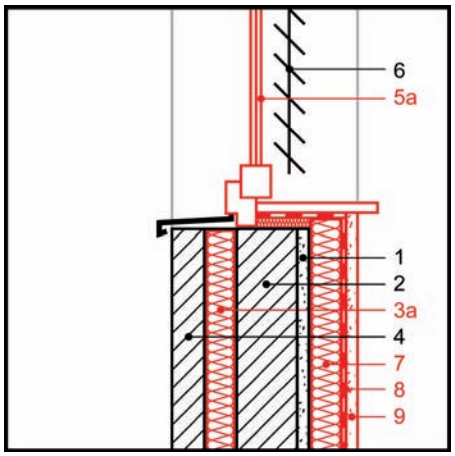
Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

alt **Massivbauweise, zweischalig, Lochfassade, ungedämmt, erhaltenswert, Einfach- o. Isolierglas**



Ausgangssituation

neu **Kerndämmung und Innendämmung und Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**



Sanierungsmaßnahme

AW-Ma 6.4 / 6.5

1	Innenputz, Bestand
2	Tragschale (Mauerwerk, Beton)
3	Luftschicht
3a	Kerndämmung (neu)
4	Vormauerschale
5	Fenster
5a	Fenster, Wärmedämmglas (neu)
6	Sonnenschutz, Bestand
7	Wärmedämmung (neu)
8	Dampfbremse bzw. -sperre (neu)
9	Innenputz (neu)

System

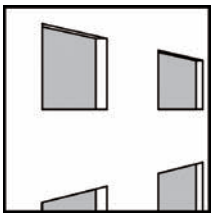
Zweischalige Außenwandkonstruktionen bestehen aus einer inneren Tragschale, einer Luftschicht und einer Verblendschale die, meist über Mauerwerksanker in Form von Drahtstiften, miteinander verbunden sind. Die Verblendschale wurde sowohl mit Putzschicht als auch unverputzt als Sichtmauerwerk erstellt. Durch Bohrlöcher, Lüftungsöffnungen oder herausgenommene Vormauerstein wird ein loser und dauerhaft wasserabweisender Dämmstoff (schütt- oder einblasbar) in den Hohlraum zwischen den Mauerwerksschalen eingebracht und verdichtet. Die Einblasöffnungen werden in der Regel von außen erstellt, bei denkmalgeschützten Fassaden können die Öffnungen auch durch die Tragschale hindurch von der Innenseite angelegt werden. Als Richtwert ist von vier bis sechs Öffnungen pro 20 m² Fassadenfläche auszugehen. Besonders geeignet sind Perlite, hydrophobierte Mineralfaserflocken oder -granulate und Polystyrol-Partikelschaum-Perlen. Die Dämmstoffe müssen in jedem Fall wasserabweisend sein und müssen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für diesen Anwendungsfall besitzen.

Zusätzlich erfolgt in Kombination der Fensteraustausch. Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

Vorteile

Bei einer Kerndämmung bleibt das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes erhalten. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn Fassaden erhaltenswert bzw. stadtbildprägend sind oder unter Denkmalschutz stehen. Der Vorteil im Gegensatz zur Innendämmung besteht darin, dass die thermische Speichermasse der Massivwand erhalten bleibt. Die inneren Oberflächentemperaturen steigen an, wodurch die Gefahr von Schimmelpilzbildung vermindert wird. Die Nutzungsbeeinträchtigung während der Sanierung ist relativ gering. Darüber hinaus zählt diese Dämmmaßnahme zu den kostengünstigen Sanierungsmaßnahmen.

Der gleichzeitige Austausch der Fenster besitzt den Vorteil die Durchführung der einzelnen Gewerke besser aufeinander abstimmen zu können, insbesondere die Anschlusspunkte zwischen Fenster und Dämmebene. Bei einer Kombination der Maßnahmen kann der Durchführungszeitraum reduziert werden, da parallel verschiedene Gewerke gleichzeitig arbeiten. Somit kann die Nutzungsbeeinträchtigung, die in



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 1,4 - 1,0 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,35 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas:	U_w = 5,0 W/(m²K)
	U_g = 5,8 W/(m²K)
	g = 0,87
Zweifachglas:	U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
	U_g = 2,9 W/(m²K)
	g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009
U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch:	U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas:	U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
	U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert
U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Lochfassade erhaltenswert.

dieser Zeit durch Baulärm und ähnliche Störquellen entsteht, möglichst gering gehalten werden.

Besonderheiten

Besonders ältere Gebäude sind häufig erhaltenswert, ihre Fassaden sind stadtbildprägend oder sie stehen ganzheitlich unter Denkmalschutz. Bei zweischaligen Außenwandkonstruktionen mit Luftschicht bietet sich unter anderem die nachträgliche Dämmung des Fassadenzwischenraums an. Vorab ist zu prüfen, ob diese Luftschicht durchgängig und nicht durch Bauschutt versperrt ist. Zudem ist sicherzustellen, dass die äußere Mauerwerksschale intakt, tragfähig und nicht durchfeuchtet ist. Im Fußpunktbereich sollten möglichst Notentwässerungsöffnungen vorgesehen werden. Eine lückenlose Verfüllung des Hohlraumes kann nicht immer garantiert werden.

Durch den zusätzlichen Fensteraustausch können Anschlussdetails fachgerecht ausgeführt und Wärmebrücken reduziert werden. Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Soll das bestehende Fenster oder das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes, erhalten bleiben oder besitzt es historische, gut erhaltene Fenster, kann der Wärmschutz der Fenster durch das Anbringen eines zusätzlichen Glases von Innen verbessert werden. Bei dieser Konstruktionsart wird ein Einfachfenster nachträglich zum Kastenfenster aufgewertet. Das innere Fenster übernimmt primär die Wärme- und Schallschutzfunktion, während das alte, äußere Glas dem Witterungsschutz dient und die Optik erhalten bleibt. Es ist zudem der Einbau moderner Fenster als historische Nachbildung möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Bei einer Kerndämmung von mehrschaligem Mauerwerk gilt laut Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 die Anforderung als erfüllt, wenn der bestehende Hohlraum zwischen den Schalen vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt wird. Es dürfen nur Produkte verwendet werden, die für diesen Anwendungsfall genormt sind oder deren Tauglichkeit durch eine bauaufsichtliche Zulassung sichergestellt ist. Für den Fensteraustausch gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der U_W-Wert der Fenster einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C nicht überschreitet, wenn das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird oder zusätzliche Vor- oder Innenfenster eingebaut werden Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, sofern die Stärke des Rahmenmaterials dies zulässt. Bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten hier keine Anforderungen. In Sonderfällen gelten weitere Anforderungen, die entweder der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 oder der Beschreibung der Einzelmaßnahme Fensteraustausch zu entnehmen sind.

Wärmebrücken

Bei der Maßnahmenkombination Kerndämmung und Fensteraustausch ergibt sich der Vorteil, dass Wärmebrücken reduziert werden können, indem eine abgestimmte Gesamtplanung im Vorfeld vorgenommen wird. Bei der Maßnahmenkombination ist es in der Regel mit geringerem Aufwand verbunden, die Fenster in die Dämmebene einzubinden. An den Anschlusspunkten (z.B. Fenster, Türen) ist auf eine besonders sorgfältige Planung und Ausführung zu achten, um Wärmebrückeneffekte nicht zu verstärken. Die Laibungen bei nicht in der Dämmebene sitzenden Öffnungen sind zur Reduzierung von Transmissionswärmeverlusten sowie feuchtetechnischen Problemen möglichst mit einem mind. 1 cm starken Dämmstoffstreifen zu dämmen.

Bestehende Wärmebrücken (z.B. im Bereich des Anschlusses an die Bodenplatte, Mauerwerksanker, einbindende Steine) können durch die Dämmmaßnahme nicht wesentlich reduziert werden, da an diesen Stellen die Dämmebene unterbrochen wird. Allerdings können diese im Bereich von einbindenden Bauteilen (z.B. Geschossdecken und Innenwände) etwas gemindert werden. Vor der Einbringung des Dämmstoffes ist unbedingt auf die Durchgängigkeit der Luftschicht zu achten, damit die Entstehung weiterer Wärmebrücken vermieden werden kann.

Feuchteschutz

Ein zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung ist bezüglich des Feuchteschutzes als unkritisch zu betrachten. Ein Nachweis nach DIN 4108-03 ist in der Regel nicht erforderlich. Es ist sicherzustellen, dass die Innenschale (Tragschale) winddicht ist. Die aufgrund von Winddruck durch das Vormauerwerk transportierte Regenwassermenge ist in der Regel gering und kann auf der Innenseite der Verblendschale ablaufen. Eine Entwässerung erfolgt durch im Sockelbereich angeordnete Entwässerungsöffnungen. Die eingedrungene Regenmenge stellt keine besondere Belastung für den Kerndämmstoff dar.

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Eine Kerndämmung bildet nicht zwangsläufig eine luftdichte Schicht, was auf die Anschlüsse an andere Bauteile, z.B. Fensterrahmen und konstruktionsbedingte Einbauteile wie Mauerwerksanker, zurückzuführen ist. Zudem handelt es sich bei nachträglich eingebrachter Kerndämmung meist um einblasfähige Materialien, die keine luftdichte Schicht ausbilden können. Die luftdichte Schicht wird z.B. durch eine intakte Innentragstruktur (z.B. Innenputz) gebildet.

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden.

Sommerlicher Wärmeschutz

Eine Kerndämmung wirkt sich, neben der Verbesserung des winterlichen Wärmschutzes, bei richtigem Nutzerverhalten in der Regel auch positiv auf die sommerlichen Raumtemperaturen aus, da sich durch den erhöhten Wärmedurchlasswiderstand der ertüchtigten Konstruktion die Außenwände durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmen. Des Weiteren nimmt eine Kerndämmung keinen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Außenwände und die Nutzung.

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Eine zweischalige Wandkonstruktion, bestehend aus zwei biegesteifen Schalen, besitzt bei einer körperschallbrückenfreien Ausführung ohnehin eine hohe Schalldämmung. Dementsprechend spielt es eher eine untergeordnete Rolle, ob der Schalenzwischenraum mit Luft oder mit einer Dämmschicht gefüllt ist. Eine nachträgliche Verfüllung des Zwischenraumes beeinflusst also die Schalldämmung nicht wesentlich, insgesamt kann jedoch tendenziell eine Verbesserung des Schallschutzes erzielt werden.

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Die brandschutztechnischen Eigenschaften von zweischaligen Außenwandkonstruktionen werden in erster Linie durch das Material der Dämmschicht bestimmt.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

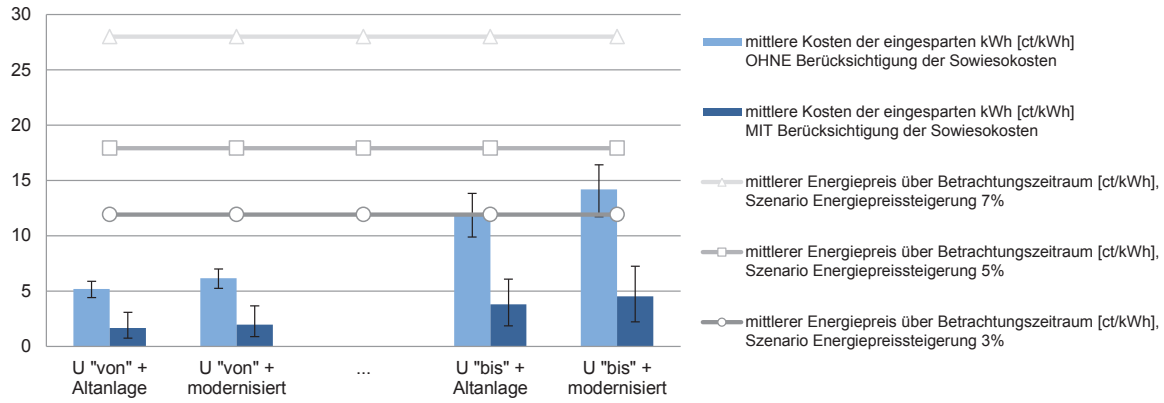
AW-Ma 6.4

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Kerndämmung				27			27		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: Innendämmung				199			199		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**303**	**355**	**407**	**158**	**113**	**68**	€/m²	Fassade

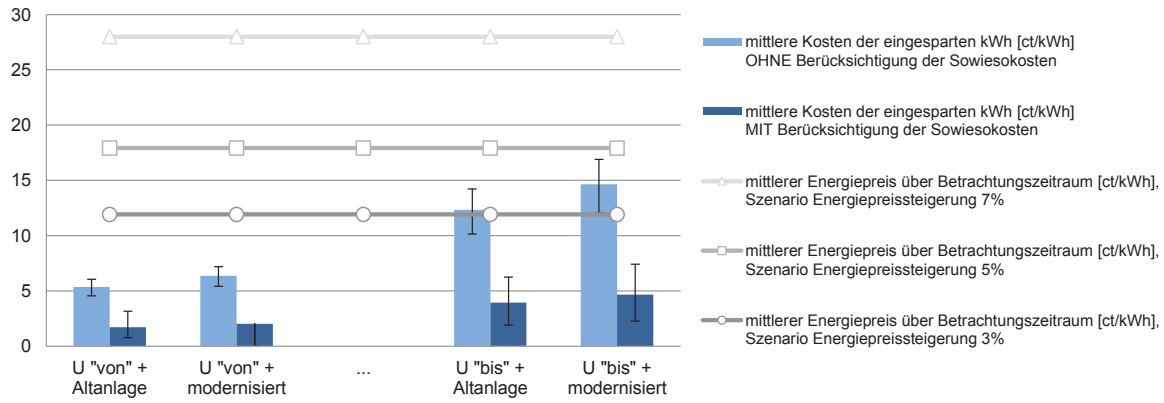
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	0,35	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**317,7**	**60%**	**267,5**	**60%**	**138,0**	**40%**	**116,2**	**40%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	239,5	57%	201,7	57%	120,8	40%	101,7	40%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	427,8	63%	360,3	63%	170,2	40%	143,3	40%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**308,4**	**64%**	**324,4**	**64%**	**148,6**	**41%**	**125,1**	**41%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	233,0	50%	196,2	50%	117,7	33%	99,1	33%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	414,3	58%	348,9	58%	165,1	35%	139,0	35%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**5,2**	**1,7**	**6,2**	**2,0**	**12,0**	**3,8**	**14,2**	**4,5**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	5,9	3,1	7,0	3,6	11,7	6,1	13,9	7,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,4	0,7	5,2	0,9	11,1	1,9	13,2	2,2	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**5,3**	**0,8**	**5,8**	**1,0**	**12,7**	**2,1**	**15,1**	**2,5**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	6,0	3,2	7,2	3,7	12,0	6,2	14,2	7,4	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,6	0,8	5,4	0,9	11,4	1,9	13,6	2,3	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- **Innendämmung**
- **Kerndämmung**
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Ma 6.5

Statik
- **tragend**
- nicht tragend

Bauweise
- massiv 1-schalig
- **massiv 2-schalig**
- Skelett massiv
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- Bandfassade
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

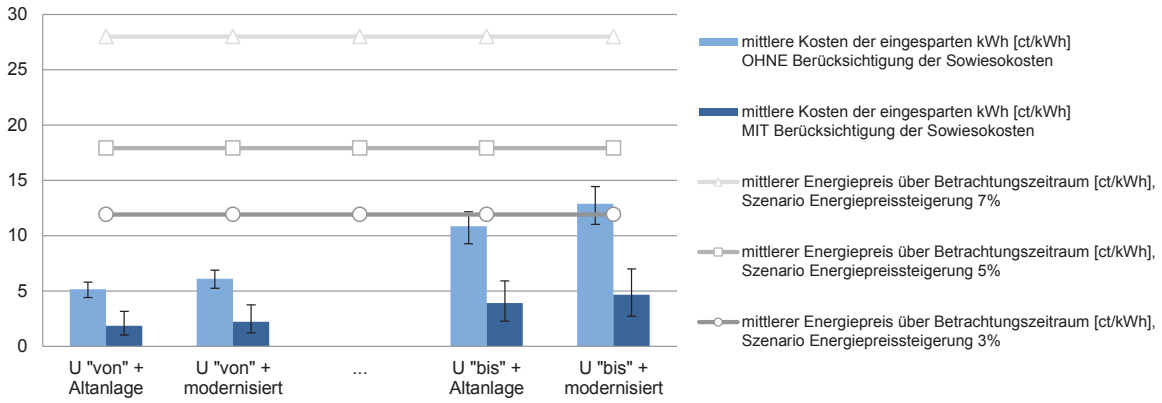
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- **Innendämmung**
- **Kerndämmung**
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten			**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Kerndämmung				27			27		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: Innendämmung				199			199		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**318**	**379**	**440**	**173**	**137**	**101**	€/m²	Fassade

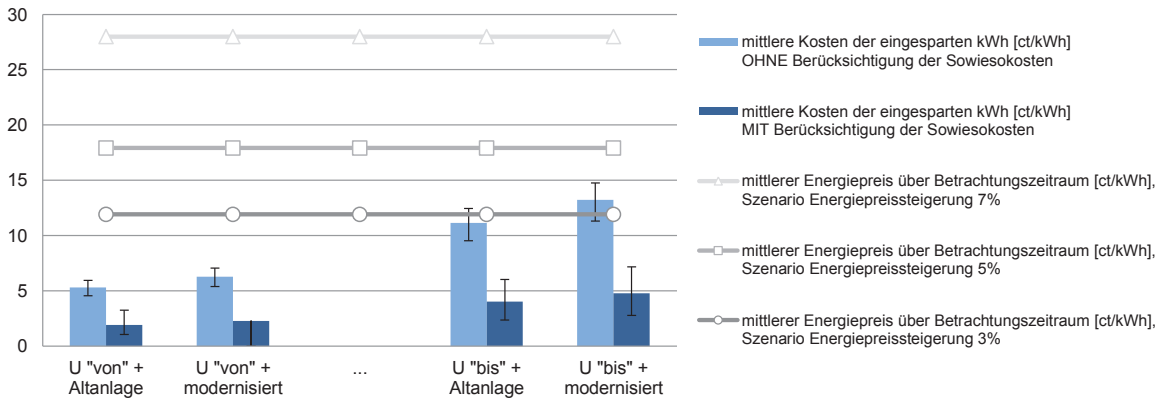
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	1,3	1,3	1,1	1,1	[W/(m²K)]	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**342,2**	**65%**	**288,1**	**65%**	**162,5**	**47%**	**136,8**	**47%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	254,8	60%	214,5	60%	136,1	45%	114,6	45%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	464,7	68%	391,3	68%	207,1	49%	174,4	49%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**332,8**	**70%**	**352,4**	**70%**	**181,8**	**50%**	**153,1**	**50%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	248,3	53%	209,1	53%	132,9	38%	111,9	38%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	450,7	63%	379,5	63%	201,4	43%	169,6	43%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**5,1**	**1,9**	**6,1**	**2,2**	**10,8**	**3,9**	**12,9**	**4,7**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	5,8	3,1	6,9	3,7	10,8	5,9	12,9	7,0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,4	1,0	5,2	1,2	9,9	2,3	11,7	2,7	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**5,3**	**1,1**	**5,8**	**1,3**	**11,2**	**2,6**	**13,4**	**3,1**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	5,9	3,2	7,1	3,8	11,1	6,0	13,2	7,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,5	1,0	5,4	1,2	10,2	2,3	12,1	2,8	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

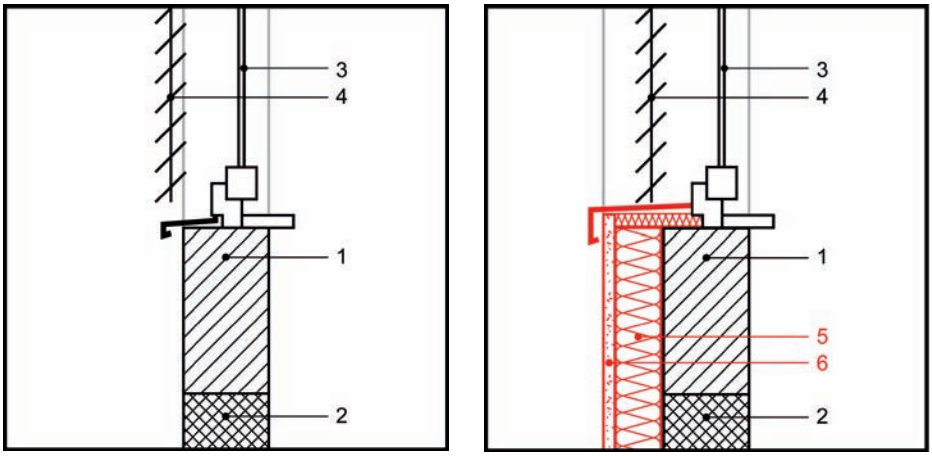


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

alt **Skelettbauweise, massiv, Loch-, Bandfassade, ungedämmt, Einfach- oder Isolierglas**

neu **Wärmedämmverbundsystem WDVS**

AW-Sk 1.1



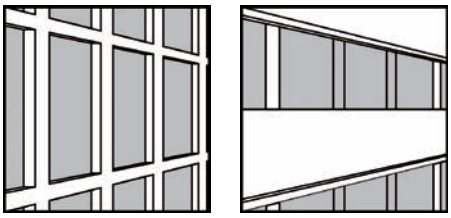
Ausgangssituation

Sanierungsmaßnahme

1 Ausfachung (Mauerwerk, Beton)
2 Tragwerk (Stahlbeton)
3 Fenster
4 Sonnenschutz, Bestand
5 Wärmedämmung (neu)
6 Armierungsgewebe, Systemputz (neu)

System

Ein WDV-System besteht aus mehreren Schichten. Dabei wird der Dämmstoff entweder vollflächig oder im Randwulst-Punkt-Verfahren mit Kleber oder mit Mörtel auf der bestehenden Wand verklebt um eine Hinterströmung mit Außenluft zu vermeiden. Bei der Verwendung von Faserplatten als Dämmmaterial oder bei nicht genügend tragfähigem Untergrund ist eine zusätzliche Verdübelung der Dämmung erforderlich. Die Anzahl der notwendigen Dübel und die jeweilige Verankerungstiefe richten sich nach dem vorhandenen Untergrund und werden vom Systemhersteller angegeben. Treten bei der Fassade starke Unebenheiten auf, werden Schienensysteme oder Spezialbefestigungen eingesetzt. Auf die Dämmung wird ein Unterputz mit Armierungsgewebe aufgebracht, der die Rissbildung durch thermische Spannungen verhindert. Nachdem der Armierungsputz abgebunden und trocken ist, erfolgt die Aufbringung einer Deckschicht (z.B. Putz, Riemchen o.ä.), die je nach Farbe oder Körnung die spätere Optik bestimmt. Es dürfen nur komplette, bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme verwendet werden.



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 2,5 - 1,0 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,24 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Vorteile

Die außenliegende Dämmung durch ein WDV-System schützt den Wandaufbau vor thermischen Belastungen, wie starker Aufheizung oder Abkühlung sowie andere äußere Schichten auch vor Schlagregenbeanspruchung. Daraus resultiert ein dauerhaft spannungs- und rissfreier Wandaufbau. Ein Wärmedämmverbundsystem stellt sich bei sorgfältiger Umsetzung als bauphysikalisch unbedenkliche Konstruktion dar. Auch bestehende Wärmebrücken können bei sachgemäßer Ausführung deutlich reduziert werden. Durch die Anbringung der Dämmung von außen wird die Nutzung während der Sanierung nur im geringen Maße beeinträchtigt. Die Speichermasse der Wand bleibt erhalten, wodurch das sommerliche Raumklima positiv beeinflusst wird. Darüber hinaus zählt die energetische Ertüchtigung der Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem zu den kostengünstigen Sanierungsmaßnahmen.

Besonderheiten

Eine außenseitige Dämmung der Außenwand bietet sich dann an, wenn ohnehin Maßnahmen zur Erneuerung des Putzes oder des Anstriches anstehen. Die durch die energetische Aufwertung verursachten Zusatzkosten fallen bei umfassenden Instandsetzungsmaßnahmen weniger stark ins Gewicht. Im Vorfeld ist zu klären, ob die Wand ausreichend trocken und standsicher und der Außenputz genügend tragfähig ist, ggf. müssen Nachbesserungen durchgeführt bzw. lose Putzbereiche abgeschlagen werden. Bei der Verlegung der Dämmplatten sollte darauf geachtet werden, dass Kreuzfugen und Fugen im Eckbereich von Öffnungen vermieden werden. Ebenso sorgfältig sind die Detailausbildungen an Fensterlaibung und Fensterbank zu planen.

Skelettbauweise, massive Ausführung.

Winterlicher Wärmeschutz

Wird bei einer Außenwand eine Dämmung von außen angebracht, fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 den U-Wert der Wand mit U ≤ 0,24 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie U ≤ 0,35 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Für Wärmedämmverbundsysteme geeignete Dämmstoffe gibt es mit λ-Werten (Bemessungswert für die Wärmeleitfähigkeit) von 0,022 bis 0,050 W/(mK). Die standardisierten Materialstärken betragen je nach Einsatzart (Wandfläche, Fensterlaibung, etc.) zwischen 20 - 200 mm, meist mit Abstufungen von 20 mm. Bei der Festlegung der Plattendicke ist zu prüfen, ob für das gewählte System die gewünschte Dimensionierung zugelassen ist.

Wärmebrücken

Wärmetechnische Unregelmäßigkeiten im Aufbau der tragenden Wand durch z.B. Betonteile werden durch WDV-Systeme in ihrer Wärmebrückenwirkung deutlich reduziert. Um Wärmebrücken zu vermeiden, darf die Dämmebene an den Anschlussstellen an andere Bauteile (z.B. Dach, Fenster, etc.) nicht unterbrochen werden. Zusätzlich zu beachten ist ggf. die örtliche Wärmebrückenwirkung der Dübel. In Abhängigkeit von der Anzahl der Dübel und des verwendeten Produkts sind Aufschläge auf den U-Wert beim rechnerischen Nachweis zu berücksichtigen. Diese sind nur dann notwendig, wenn systembedingt die erforderliche Dübelanzahl überschritten wird. Bei unbeheizten Kellern sollte die Außenwand 50 cm über die Kellerdeckeneinbindung nach unten hin gedämmt werden. Auf die Einhaltung des Spritzwasserbereichs am Boden von mindestens 30 cm ist zu achten.

Feuchteschutz

Für bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme ist ein rechnerischer Nachweis zur Tauwasserbildung nach DIN 4108-3 nicht erforderlich. Durch die außenseitige Dämmschicht wird die Temperatur im Wandquerschnitt und somit auch an der inneren Bauteiloberfläche erhöht, wodurch bei fachgerechter Planung das Risiko des Tauwasserausfalls und die Gefahr von Schimmelbildung reduziert werden.

Luftdichtheit

Ein WDV-System bildet nicht zwangsläufig eine luftdichte Schicht, was auf die Anschlüsse an andere Bauteile, wie z.B. Fensterrahmen, aber auch auf systembedingte Fugen an den Plattenstößen zurückzuführen ist. Die luftdichte Schicht wird z.B. durch eine intakte Innentragstruktur (z.B. Innenputz) gebildet.

Sommerlicher Wärmeschutz

Die Anbringung eines WDV-Systems wirkt sich, neben der Verbesserung des winterlichen Wärmschutzes, bei richtigem Nutzerverhalten in der Regel auch positiv auf die sommerlichen Raumtemperaturen aus, da sich durch den erhöhten Wärmedurchlasswiderstand der ertüchtigten Konstruktion die Außenwände durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmen. Des Weiteren nimmt ein von außen angebrachtes WDV-System keinen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Außenwände und die Nutzung. Voraussetzung für akzeptable Innenraumtemperaturen ist in jedem Fall das Vorhandensein eines Sonnenschutzes für die transparenten Bauteilflächen.

Schallschutz

Die schallschutztechnische Qualität eines Wärmedämmverbundsystems hängt stark vom verwendeten System und Material ab. Die dynamische Steifigkeit des verwendeten Dämmstoffes und die flächenbezogene Masse des Putzes sind einflussnehmende Faktoren. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass WDV-Systeme mit Dämmplatten aus Mineralfasern oder Polystyrol in Verbindung mit einem schweren Putzsystem einen positiven Einfluss auf den Schallschutz besitzen.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Sk 1.1

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				12			0		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe				45			0		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: WDVS (Mineralwolle)				55			55		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				-			-		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**82**	**62**	**42**	**39**	**28**	**17**	€/m²	Fassade

energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	wie IST	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**175,6**	**27%**	**147,9**	**27%**	**56,5**	**16%**	**47,6**	**16%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	103,4	15%	87,1	15%	33,3	9%	28,1	9%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	262,4	41%	220,9	41%	86,1	24%	72,5	24%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**170,3**	**15%**	**88,3**	**15%**	**33,4**	**9%**	**28,2**	**9%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	100,1	14%	84,3	14%	32,4	8%	27,3	8%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	255,2	37%	214,9	37%	84,3	21%	71,0	21%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**1,6**	**0,7**	**1,9**	**0,9**	**5,1**	**2,3**	**6,1**	**2,7**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	1,9	0,7	2,2	0,9	5,9	2,3	7,0	2,7	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	1,5	0,7	1,7	0,8	4,4	2,1	5,3	2,5	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**1,7**	**0,7**	**2,2**	**0,9**	**5,8**	**2,3**	**6,9**	**2,7**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	2,0	0,8	2,3	0,9	6,0	2,4	7,2	2,8	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	1,5	0,7	1,8	0,8	4,5	2,1	5,4	2,5	ct/kWh	

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

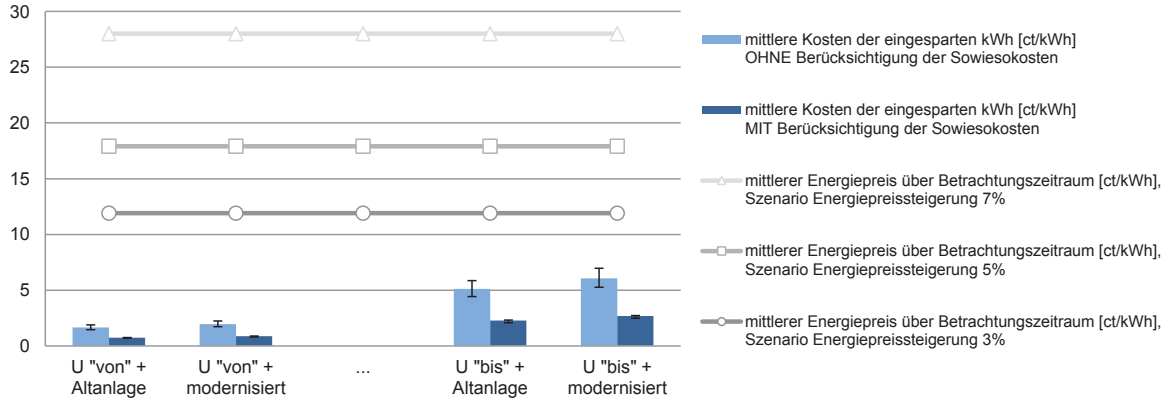
Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

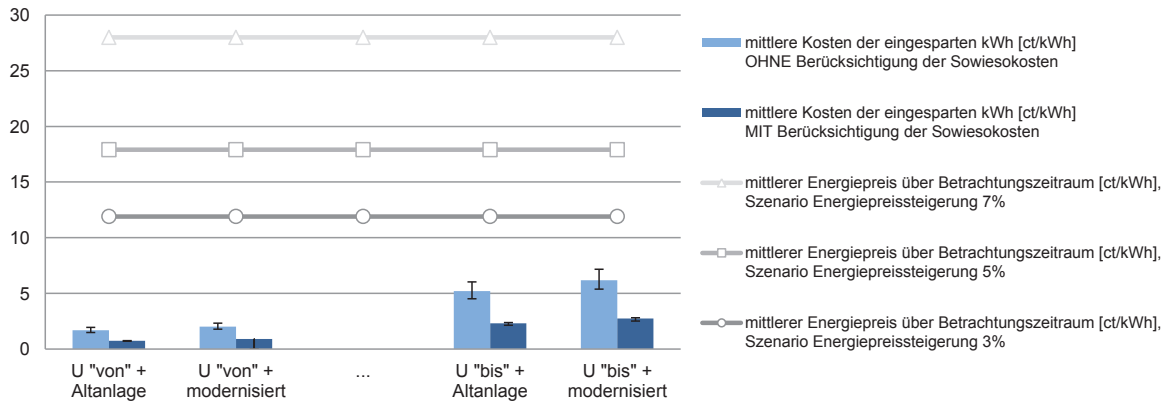
IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- **WDVS**
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

AW-Sk 1.1

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

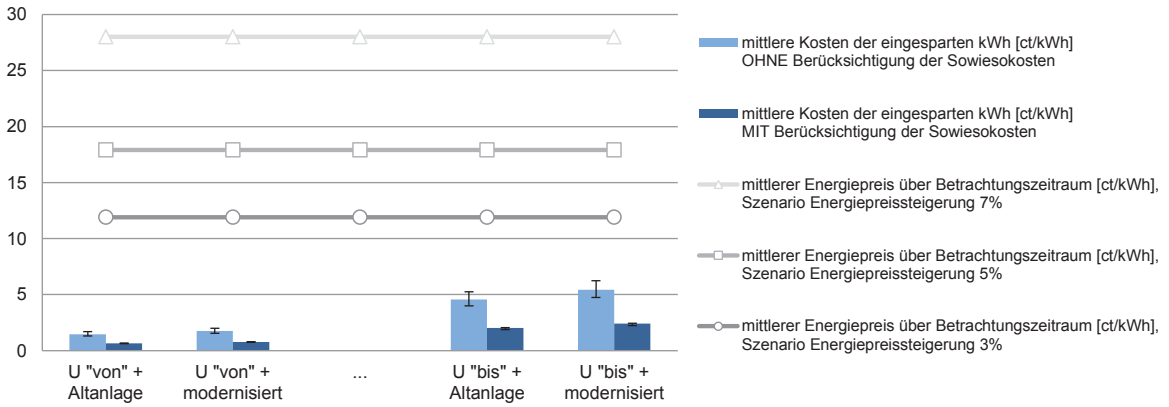
Maßnahme
- **WDVS**
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			12			0		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe			45			0		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: WDVS (Mineralwolle)			55			55		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			-			-		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**82**	**62**	**42**	**39**	**28**	**17**	€/m²	Fassade

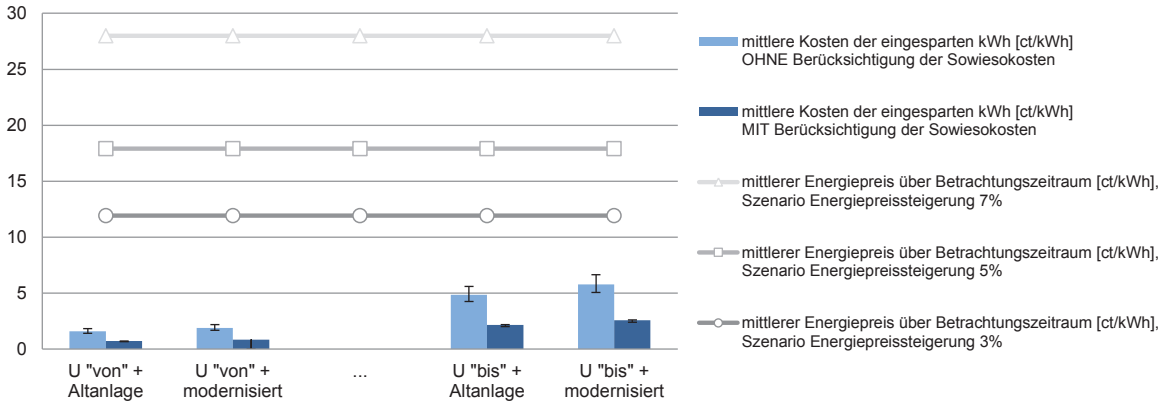
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	wie IST	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**196,2**	**28%**	**165,2**	**28%**	**63,2**	**16%**	**53,2**	**16%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	115,8	15%	97,5	15%	37,2	9%	31,3	9%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	291,4	42%	245,4	42%	95,2	25%	80,2	25%	kWh/(m²a)	Fassade
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**181,6**	**15%**	**98,8**	**15%**	**37,5**	**9%**	**31,6**	**9%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	106,7	15%	89,8	15%	35,0	9%	29,4	9%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	270,8	41%	228,1	41%	89,5	24%	75,4	24%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**1,5**	**0,7**	**1,7**	**0,8**	**4,6**	**2,0**	**5,4**	**2,4**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	1,7	0,7	2,0	0,8	5,2	2,1	6,2	2,4	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	1,3	0,6	1,6	0,7	4,0	1,9	4,8	2,2	ct/kWh	
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**1,6**	**0,7**	**2,0**	**0,8**	**5,2**	**2,0**	**6,2**	**2,4**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	1,8	0,7	2,2	0,9	5,6	2,2	6,6	2,6	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	1,4	0,7	1,7	0,8	4,3	2,0	5,1	2,4	ct/kWh	

Nutzung: Hotel, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Sportstätte, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

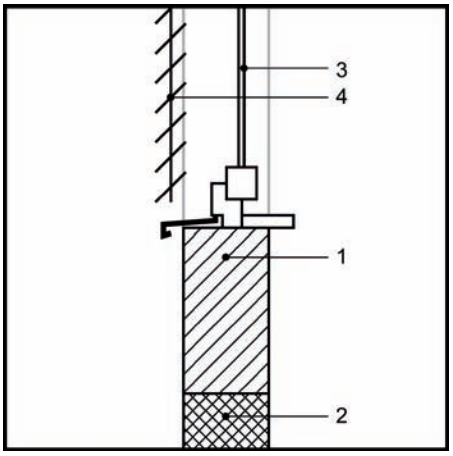


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

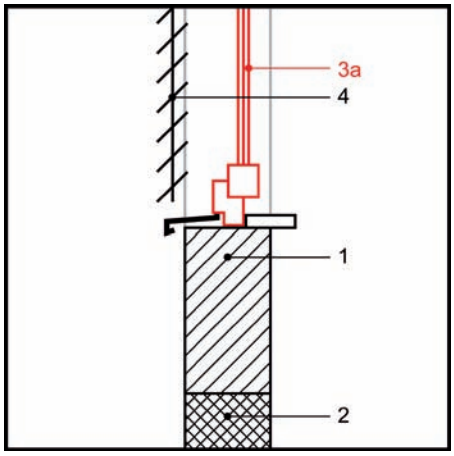
alt **Skelettbauweise, massiv, Loch-, Bandfassade, ungedämmt, Einfach- oder Isolierglas**

neu **Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**

AW-Sk 1.2 / 1.3



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Ausfachung (Mauerwerk, Beton)
2 Tragwerk (Stahlbeton)
3 Fenster
3a Fenster, Wärmedämmglas
4 Sonnenschutz, Bestand

System

Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

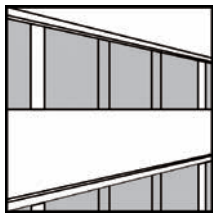
Sondergläser stellen nach Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 Schallschutzglas mit einem bewerteten Schalldämmmaß des Glases von $R_{w,R}$ > 40 dB, Sonderaufbauten zur Durchschuss-, Durchbruch- oder Sprengwirkungshemmung sowie Sonderaufbauten als Brandschutzglas dar.

Vorteile

Von besonderem energetischem und wirtschaftlichem Interesse für einen Austausch sind Fenster mit Einfachglas, die nach Einschätzungen des VFF noch einen Bestand von insgesamt etwa 25 Millionen Fenstereinheiten ausmachen. Neben der Einsparung von Heizenergie können bei sachgemäßer Ausführung Wärmebrücken reduziert sowie die Luftdichtheit verbessert werden. Bei Fassaden mit einem hohen Transparenzanteil kann durch die Reduzierung des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases (z.B. Sonnenschutzglas g = 0,35) der sommerliche Wärmeeintrag in den Innenraum verringert werden.

Besonderheiten

Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Viele der im Gebäudebestand vorhandenen Fenster können jedoch die heutigen Anforderungen nicht mehr erfüllen. Alte Fenster sind häufig undicht, wodurch der Luftaustausch mit der Außenluft unkontrolliert erfolgt. Im Winter geht dadurch eine erhebliche Menge an Heizenergie verloren. Durch den entstehenden Luftzug und niedrige Oberflächentemperaturen entsteht häufig ein Gefühl der Unbehaglichkeit und Zugerscheinungen im Innenraum. Auch ein mangelnder Schallschutz kann eine Ursache für eine notwendige Fenstersanierung sein. Eine Fenstersanierung erzeugt neben der Verbesserung dieser Aspekte auch eine weitgehende Luftdichtigkeit der Anschlussdetails, wodurch die Lüftungswärmeverluste zu reduziert werden.



Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas: U_w = 5,0 W/(m²K)
U_g = 5,8 W/(m²K)
g = 0,87

Zweifachglas: U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
U_g = 2,9 W/(m²K)
g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009

U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch: U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas: U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert

U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Skelettbauweise, massive Ausführung.

Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Soll das bestehende Fenster oder das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes, erhalten bleiben oder besitzt es historische, gut erhaltene Fenster, kann der Wärmschutz der Fenster durch das Anbringen eines zusätzlichen Glases von Innen verbessert werden. Bei dieser Konstruktionsart wird ein Einfachfenster nachträglich zum Kastenfenster aufgewertet. Das innere Fenster übernimmt primär die Wärme- und Schallschutzfunktion, während das alte, äußere Glas dem Witterungsschutz dient und die Optik erhalten bleibt. Es ist zudem der Einbau moderner Fenster als historische Nachbildung möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 stellt Mindestanforderungen an Fenster in bestehenden Gebäuden, falls diese ausgetauscht oder ersetzt werden. Der U_W-Wert der Fenster darf einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C betragen. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten keine Anforderungen. Die Anforderungen gelten jedoch nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme des vorgeschriebenen Glases ungeeignet ist. Wird ausschließlich das Glas eines Fensters ausgetauscht und ist die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahme aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn ein Glas mit einem U_g-Wert ≤ 1,3 W/(m²K) eingebaut wird. Darüber hinaus gelten spezielle Anforderungen bei Sondergläsern. Hier gilt ein maximaler U_W-Wert von 2,0 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Temperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 2{,}8$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Die Anforderungen gelten nicht bei Schaufenstern und Türanlagen aus Glas.

Wärmebrücken

Um Wärmebrücken zu reduzieren, kann fallspezifisch entschieden werden, bei einem Austausch das Fenster bündig zur Fassade zu setzen. Bei einer späteren Dämmmaßnahme können auf diese Weise die Wärmebrücken in den Fensterlaibungen und darüber hinaus die starke Zunahme der Laibungstiefen und somit die Entstehung von sogenannten „Schießscharten“ vermieden werden. Wird das Fenster nicht versetzt, ist bei der späteren Anbringung eines WDV-Systems auf die ausreichende Dämmung der Fensterlaibung zu achten.

Feuchteschutz

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anforderungen nach EnEV an die Fugendurchlässigkeit sind zu berücksichtigen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein ent-

sprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

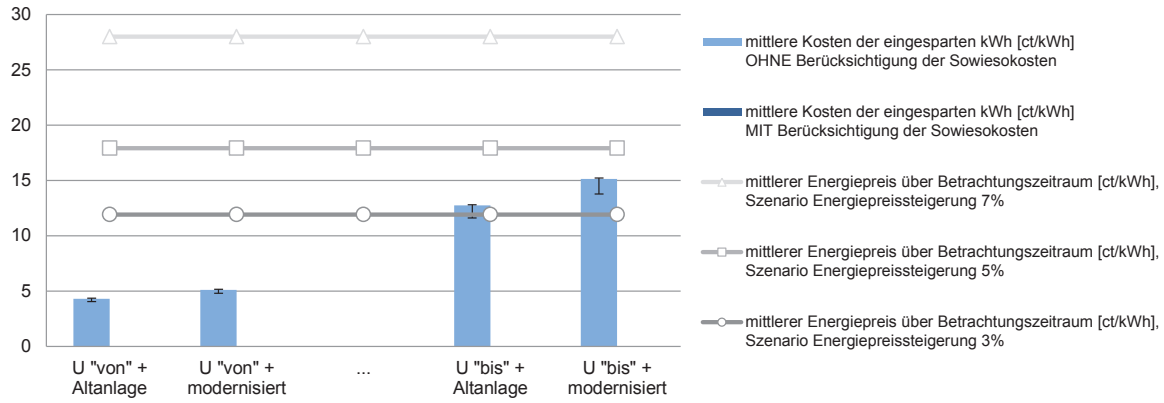
AW-Sk 1.2

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**145**	**242**	**339**	**0**	**0**	**0**	€/m²	Fassade

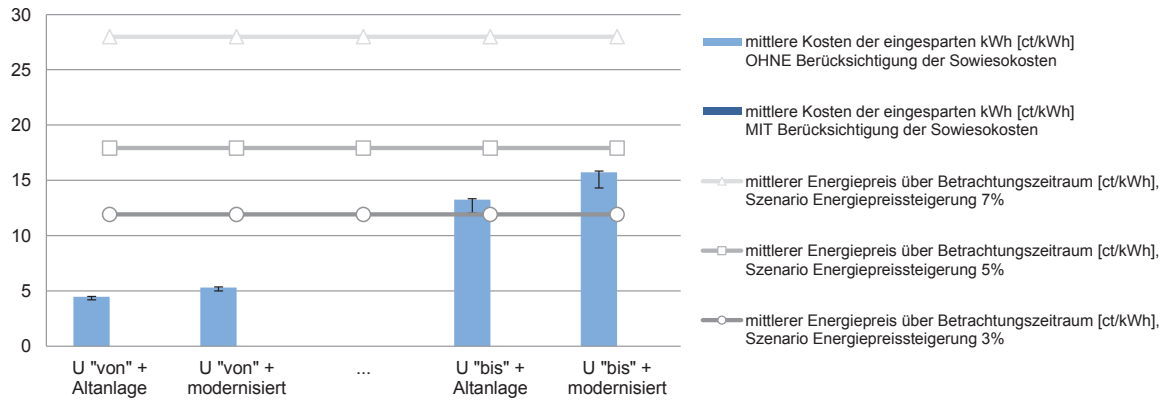
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**261,5**	**41%**	**220,2**	**41%**	**88,2**	**25%**	**74,3**	**25%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	157,6	26%	132,7	26%	52,9	16%	44,6	16%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	385,9	52%	325,0	52%	135,2	32%	113,9	32%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**251,9**	**53%**	**304,9**	**53%**	**122,9**	**33%**	**103,5**	**33%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	151,3	24%	127,4	24%	50,6	13%	42,6	13%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	372,4	48%	313,6	48%	130,7	28%	110,0	28%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0**	**5,1**	**0**	12,7	**0**	15,1	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,3	0	5,1	0	12,8	0	15,1	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0	4,8	0	11,6	0	13,8	0	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0**	**5,2**	**0**	12,8	**0**	15,2	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,5	0	5,3	0	13,3	0	15,8	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0	5,0	0	12,0	0	14,3	0	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Sk 1.3

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

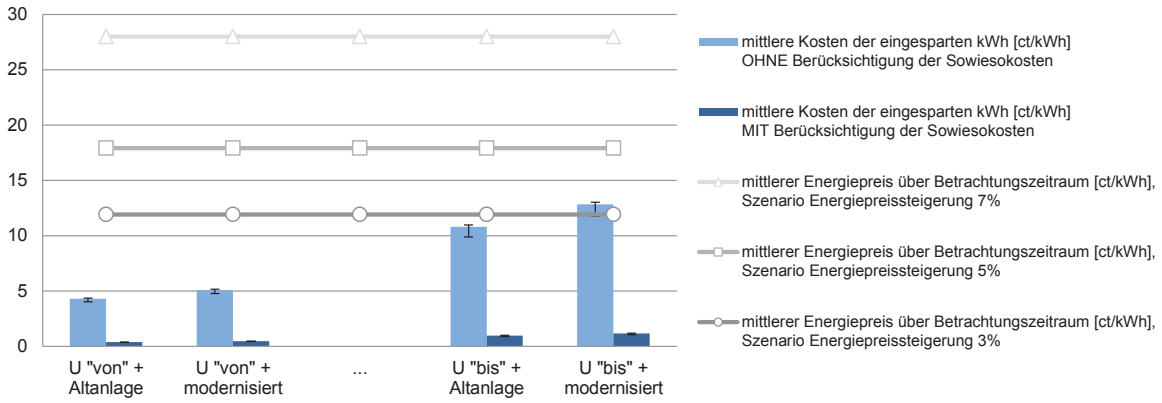
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			-			-		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**160**	**266**	**372**	**14**	**24**	**34**	€/m²	Fassade

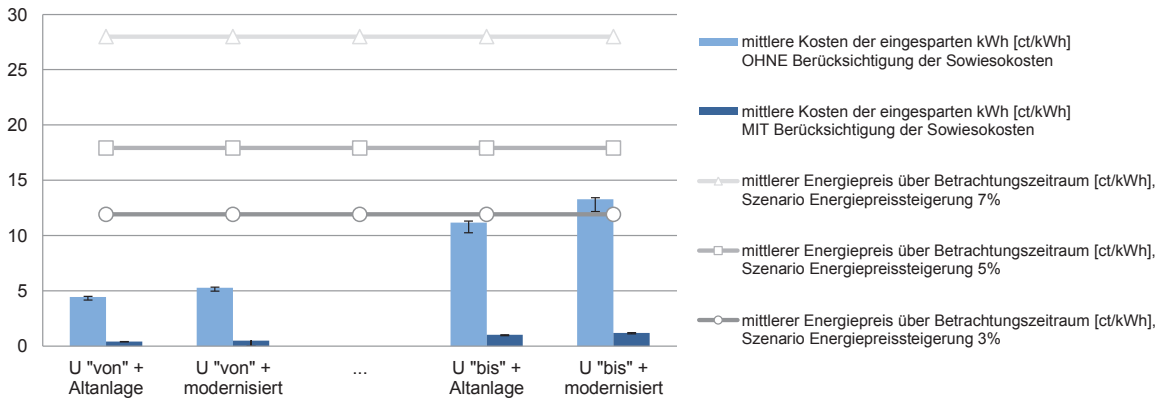
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**288,7**	**45%**	**243,1**	**45%**	**114,4**	**32%**	**96,3**	**32%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	174,5	29%	146,9	29%	69,2	21%	58,3	21%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	424,2	57%	357,3	57%	172,5	41%	145,3	41%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**278,5**	**58%**	**335,2**	**58%**	**157,8**	**42%**	**132,9**	**42%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	167,8	26%	141,3	26%	66,6	18%	56,1	18%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	409,8	53%	345,1	53%	167,3	36%	140,9	36%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0,4**	**5,1**	**0,5**	**10,8**	**1,0**	**12,8**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,2	0,4	5,0	0,5	10,7	1,0	12,7	1,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0,4	4,8	0,4	10,0	0,9	11,9	1,1	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,4**	**0,4**	**5,2**	**0,5**	**11,0**	**1,0**	**13,0**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,4	0,4	5,2	0,5	11,1	1,0	13,2	1,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0,4	5,0	0,5	10,3	0,9	12,3	1,1	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

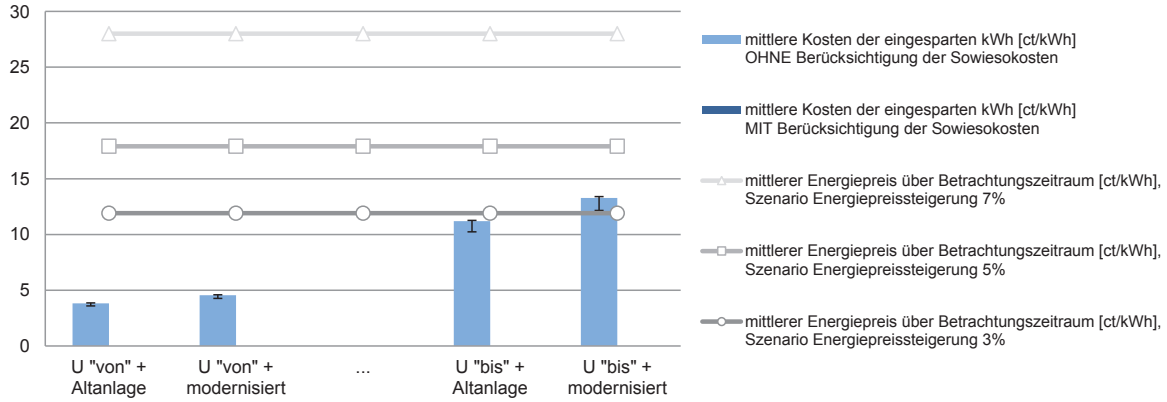
AW-Sk 1.2

mittlere Baukosten		ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			-			-		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**145**	**242**	**339**	**0**	**0**	**0**	€/m²	Fassade

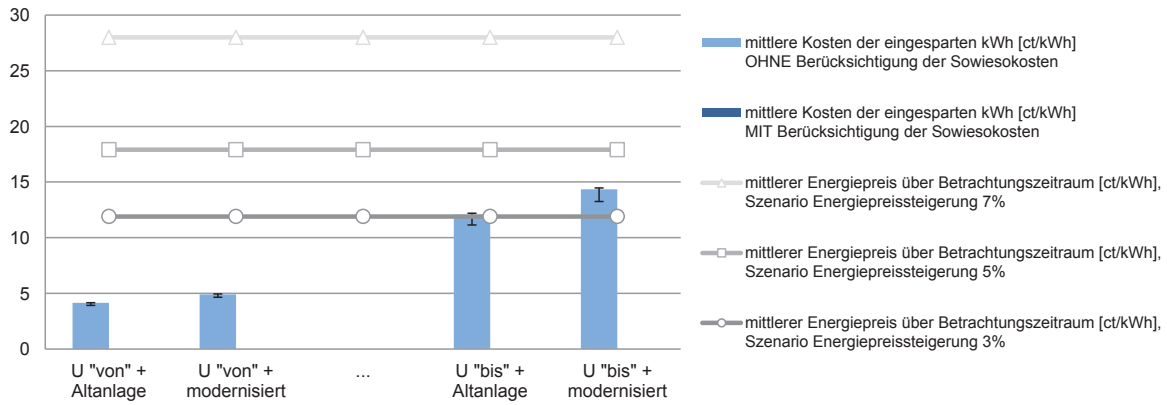
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**294,7**	**42%**	**248,2**	**42%**	**100,5**	**26%**	**84,7**	**26%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	177,9	27%	149,8	27%	60,4	17%	50,9	17%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	432,9	53%	364,5	53%	152,3	33%	128,3	33%	kWh/(m²a)	Fassade
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**271,7**	**54%**	**343,8**	**54%**	**139,7**	**34%**	**117,6**	**34%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	163,3	26%	137,5	26%	55,3	16%	46,6	16%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	399,3	52%	336,3	52%	141,0	32%	118,8	32%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,8**	**0**	**4,5**	**0**	**11,2**	**0**	**13,3**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	3,8	0	4,5	0	11,2	0	13,3	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,6	0	4,3	0	10,3	0	12,3	0	ct/kWh	
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,1**	**0**	**4,6**	**0**	**11,3**	**0**	**13,4**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,1	0	4,9	0	12,2	0	14,5	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,9	0	4,7	0	11,2	0	13,3	0	ct/kWh	

Nutzung: Hotel, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Sportstätte, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Sk 1.3

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

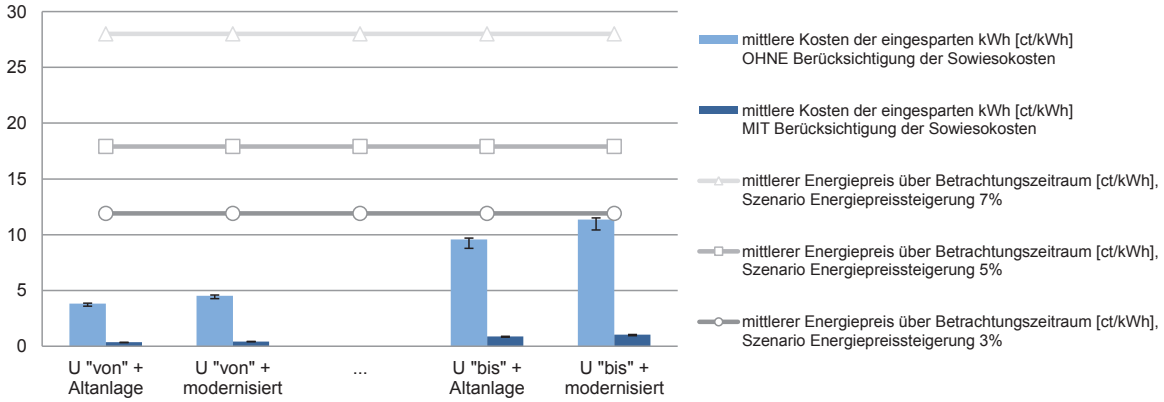
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			-			-		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**160**	**266**	**372**	**14**	**24**	**34**	€/m²	Fassade

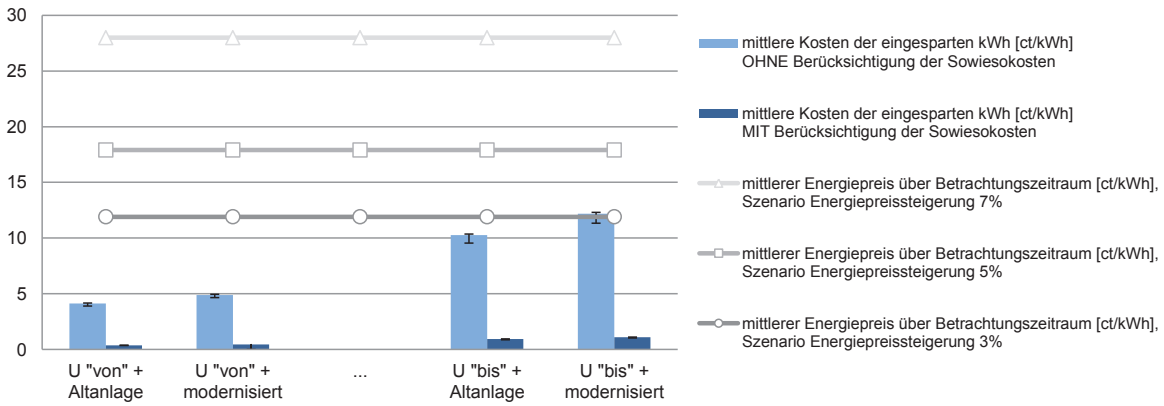
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung								Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**324,8**	**46%**	**273,5**	**46%**	**129,3**	**33%**	**108,9**	**33%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	196,8	30%	165,7	30%	78,4	22%	66,0	22%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	475,1	58%	400,1	58%	193,6	42%	163,1	42%	kWh/(m²a)	Fassade
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**300,0**	**59%**	**377,8**	**59%**	**178,5**	**43%**	**150,3**	**43%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	180,8	29%	152,2	29%	72,4	21%	61,0	21%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	439,1	57%	369,8	57%	180,2	41%	151,7	41%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,8**	**0,3**	**4,5**	**0,4**	**9,6**	**0,9**	**11,3**	**1,0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	3,8	0,3	4,5	0,4	9,5	0,9	11,2	1,0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,6	0,3	4,3	0,4	8,9	0,8	10,6	1,0	ct/kWh	
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,1**	**0,3**	**4,6**	**0,4**	**9,7**	**0,9**	**11,5**	**1,0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,1	0,4	4,9	0,4	10,2	0,9	12,2	1,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,9	0,4	4,7	0,4	9,6	0,9	11,4	1,0	ct/kWh	

Nutzung: Hotel, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Sportstätte, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

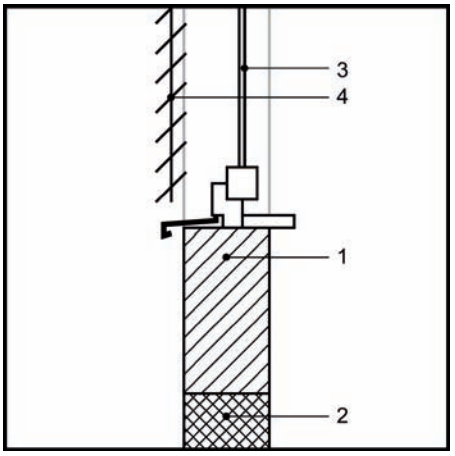


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

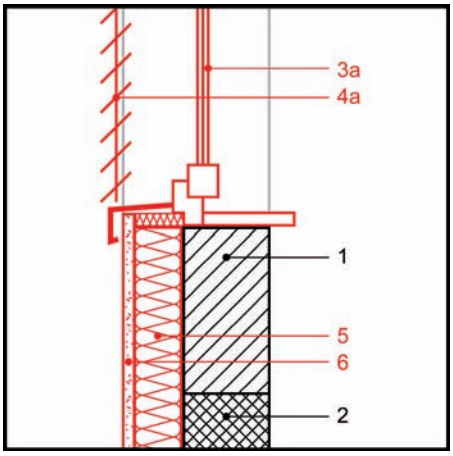
alt **Skelettbauweise, massiv, Loch-, Bandfassade, ungedämmt, Einfach- oder Isolierglas**

neu **WDVS und Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**

AW-Sk 1.4 / 1.5



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Ausfachung (Mauerwerk, Beton)
2 Tragwerk (Stahlbeton)
3 Fenster
3a Fenster, Wärmedämmglas (neu)
4 Sonnenschutz, Bestand
4a Sonnenschutz (neu)
5 Wärmedämmung (neu)
6 Armierungsgewebe, Systemputz (neu)

System

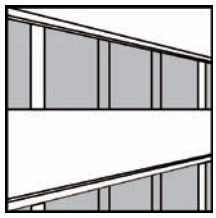
Ein WDV-System besteht aus mehreren Schichten. Dabei wird der Dämmstoff entweder vollflächig oder im Randwulst-Punkt-Verfahren mit Kleber oder mit Mörtel auf der bestehenden Wand verklebt um eine Hinterströmung mit Außenluft zu vermeiden. Bei der Verwendung von Faserplatten als Dämmmaterial oder bei nicht genügend tragfähigem Untergrund ist eine zusätzliche Verdübelung der Dämmung erforderlich. Die Anzahl der notwendigen Dübel und die jeweilige Verankerungstiefe richten sich nach dem vorhandenen Untergrund und werden vom Systemhersteller angegeben. Treten bei der Fassade starke Unebenheiten auf, werden Schienensysteme oder Spezialbefestigungen eingesetzt. Auf die Dämmung wird ein Unterputz mit Armierungsgewebe aufgebracht, der die Rissbildung durch thermische Spannungen verhindert. Nachdem der Armierungsputz abgebunden und trocken ist, erfolgt die Aufbringung einer Deckschicht (z.B. Putz, Riemchen o.ä.), die je nach Farbe oder Körnung die spätere Optik bestimmt. Es dürfen nur komplette, bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme verwendet werden.

Zusätzlich erfolgt in Kombination der Fensteraustausch. Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas Uw-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas Uw= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

Vorteile

Die außenliegende Dämmung durch ein WDV-System schützt den Wandaufbau vor thermischen Belastungen, wie starker Aufheizung oder Abkühlung sowie andere äußere Schichten auch vor Schlagregenbeanspruchung. Daraus resultiert ein dauerhaft spannungs- und rissfreier Wandaufbau. Ein Wärmedämmverbundsystem stellt sich bei sorgfältiger Umsetzung als bauphysikalisch unbedenkliche Konstruktion dar. Auch bestehende Wärmebrücken können bei sachgemäßer Ausführung deutlich reduziert werden. Die Speichermasse der Wand bleibt erhalten, wodurch das sommerliche Raumklima positiv beeinflusst wird. Der gleichzeitige Austausch der Fenster besitzt den Vorteil die Durchführung der einzelnen Gewerke besser aufeinander abstimmen zu können, insbesondere die Anschlusspunkte zwischen Fenster und Dämmebene.

Die Fenster können bei dieser Kombination mit einem relativ geringen Aufwand zur Dämmebene versetzt werden. Weitere Aufwendungen wie etwa Gerüststellung und Baustelleneinrichtung treten nur einmalig auf und machen das Vorhaben somit kosten-



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 2,5 - 1,0 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,24 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Fenster: U-Werte vorhanden
Einfachglas: U_w = 5,0 W/(m²K)
U_g = 5,8 W/(m²K)
g = 0,87
Zweifachglas: U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
U_g = 2,9 W/(m²K)
g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009
U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:
Glasaustausch: U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas: U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert
U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Skelettbauweise, massive Ausführung.

günstiger. Ein weiterer Vorteil besteht in der guten Möglichkeit zur Integration eines Beschattungssystems. Außerdem kann bei einer Kombination der Maßnahmen der Durchführungszeitraum reduziert werden, da parallel verschiedene Gewerke gleichzeitig arbeiten. Somit kann die Nutzungsbeeinträchtigung, die in dieser Zeit durch Baulärm und ähnliche Störquellen entsteht, möglichst gering gehalten werden.

Besonderheiten

Eine außenseitige Dämmung der Außenwand bietet sich dann an, wenn ohnehin Maßnahmen zur Erneuerung des Putzes oder des Anstriches anstehen. Die durch die energetische Aufwertung verursachten Zusatzkosten fallen bei umfassenden Instandsetzungsmaßnahmen weniger stark ins Gewicht. Durch den zusätzlichen Fensteraustausch können Anschlussdetails fachgerecht ausgeführt und Wärmebrücken reduziert werden. Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Das nachträgliche Anbringen einer Beschattung ist bei dieser Kombination einfach zu realisieren.

Winterlicher Wärmeschutz

Wird bei einer Außenwand eine Dämmung von außen angebracht, fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 den U-Wert der Wand mit $U \leq 0{,}24$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U \leq 0{,}35$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Für den Fensteraustausch gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der UW-Wert der Fenster einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $UW \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C nicht überschreitet, wenn das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird oder zusätzliche Vor- oder Innenfenster eingebaut werden. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein Ug-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, sofern die Stärke des Rahmenmaterials dies zulässt. Bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten hier keine Anforderungen. In Sonderfällen gelten weitere Anforderungen, die entweder der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 oder der Beschreibung der Einzelmaßnahme Fensteraustausch zu entnehmen sind.

Wärmebrücken

Bei der Maßnahmenkombination WDVS und Fensteraustausch ergibt sich der Vorteil, dass Wärmebrücken reduziert werden können, indem eine abgestimmte Gesamtplanung im Vorfeld vorgenommen wird. Denn es ist in der Regel wärmetechnisch sinnvoll, den Blendrahmen mit dem Wärmedämmverbundsystem zu überdecken. Wird das Fenster beim Austausch nicht versetzt, ist es notwendig, die Dämmebene an den Anschlussstellen nicht unterbrechen zu lassen. Bei unbeheizten Kellern sollte die Außenwand 50 cm über die Kellerdeckeneinbindung nach unten hin gedämmt werden. Auf die Einhaltung des Spritzwasserbereichs am Boden von mindestens 30 cm ist zu achten.

Feuchteschutz

Für bauaufsichtlich zugelassene Wärmedämmverbundsysteme ist ein rechnerischer Nachweis zur Tauwasserbildung nach DIN 4108-3 nicht erforderlich. Durch die außenseitige Dämmschicht wird die Temperatur im Wandquerschnitt und somit auch an der inneren Bauteiloberfläche erhöht, wodurch bei fachgerechter Planung das Risiko des Tauwasserausfalls und die Gefahr von Schimmelbildung reduziert werden.

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas.

Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Ein WDV-System bildet nicht zwangsläufig eine luftdichte Schicht, was auf die Anschlüsse an andere Bauteile, wie z.B. Fensterrahmen, aber auch auf systembedingte Fugen an den Plattenstößen zurückzuführen ist. Die luftdichte Schicht wird z.B. durch eine intakte Innentragstruktur (z.B. Innenputz) gebildet. Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anschlussproblematik zwischen Fenster und Wandbereich gestaltet sich im Regelfall bei der Kombination der Maßnahmen einfacher als bei zeitlich versetzter Durchführung der Einzelmaßnahmen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Die Anbringung eines WDV-Systems wirkt sich, neben der Verbesserung des winterlichen Wärmschutzes, bei richtigem Nutzerverhalten in der Regel auch positiv auf die sommerlichen Raumtemperaturen aus, da sich durch den erhöhten Wärmedurchlasswiderstand der ertüchtigten Konstruktion die Außenwände durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmen. Des Weiteren nimmt ein von außen angebrachtes WDV-System keinen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Außenwände und die Nutzung.

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den gtotal-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Die schallschutztechnische Qualität eines Wärmedämmverbundsystems hängt stark vom verwendeten System und Material ab. Die dynamische Steifigkeit des verwendeten Dämmstoffes und die flächenbezogene Masse des Putzes sind einflussnehmende Faktoren. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass WDV-Systeme mit Dämmplatten aus Mineralfasern oder Polystyrol in Verbindung mit einem schweren Putzsystem einen positiven Einfluss auf den Schallschutz besitzen.

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten seiner Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflamm-

bar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

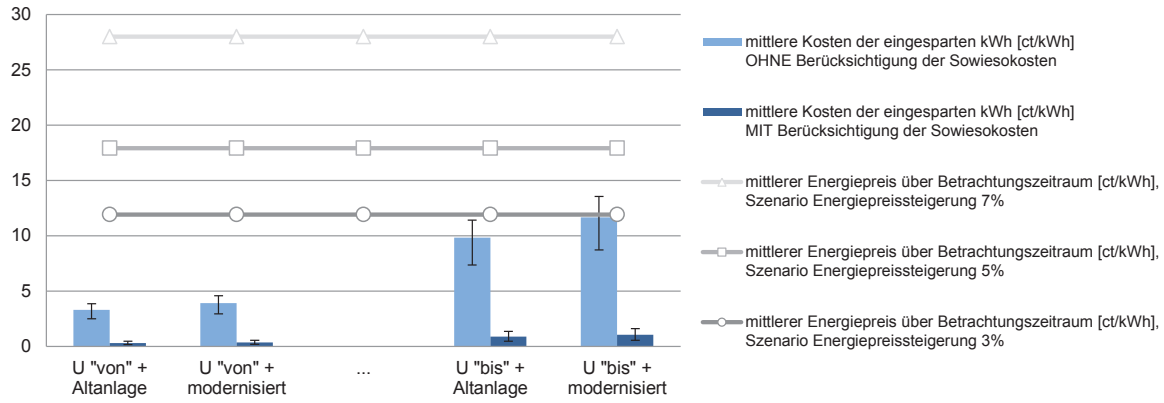
AW-Sk 1.4

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				12			0		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe				45			0		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: WDVS (Mineralwolle)				55			55		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**227**	**304**	**381**	**39**	**28**	**17**	€/m²	Fassade

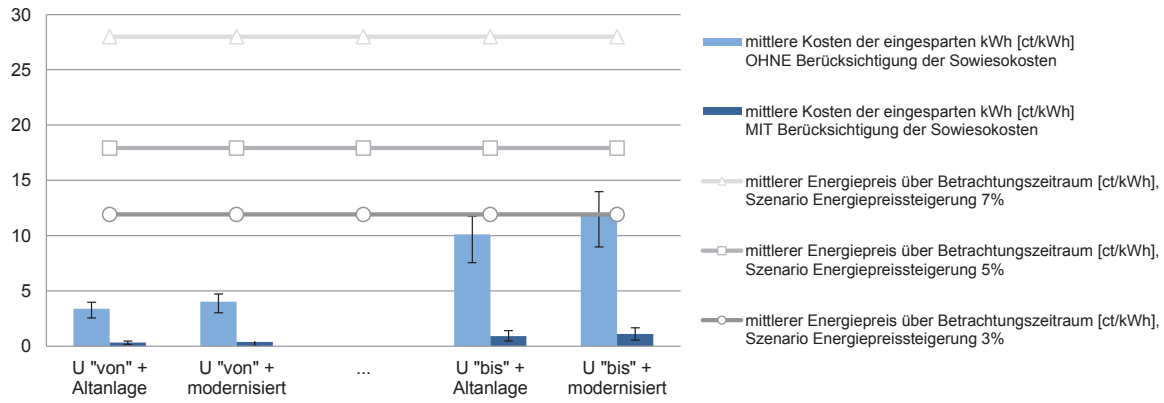
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**429,9**	**67%**	**362,0**	**67%**	**143,8**	**41%**	**121,1**	**41%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	397,0	67%	334,3	67%	131,8	40%	111,0	40%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	492,2	66%	414,5	66%	170,5	40%	143,6	40%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**417,2**	**67%**	**387,2**	**67%**	**155,3**	**41%**	**130,8**	**41%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	385,2	60%	324,4	60%	128,1	34%	107,9	34%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	476,8	61%	401,5	61%	165,4	35%	139,3	35%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,3**	**0,3**	**3,9**	**0,4**	**9,8**	**0,9**	**11,7**	**1,1**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,7	0,5	3,2	0,5	8,0	1,4	9,5	1,6	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,6	0,2	4,3	0,2	10,4	0,4	12,3	0,5	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,4**	**0,2**	**4,6**	**0,2**	**11,4**	**0,5**	**13,5**	**0,6**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,7	0,5	3,3	0,6	8,2	1,4	9,8	1,7	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,7	0,2	4,4	0,2	10,7	0,5	12,7	0,6	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- **WDVS**
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Sk 1.5

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

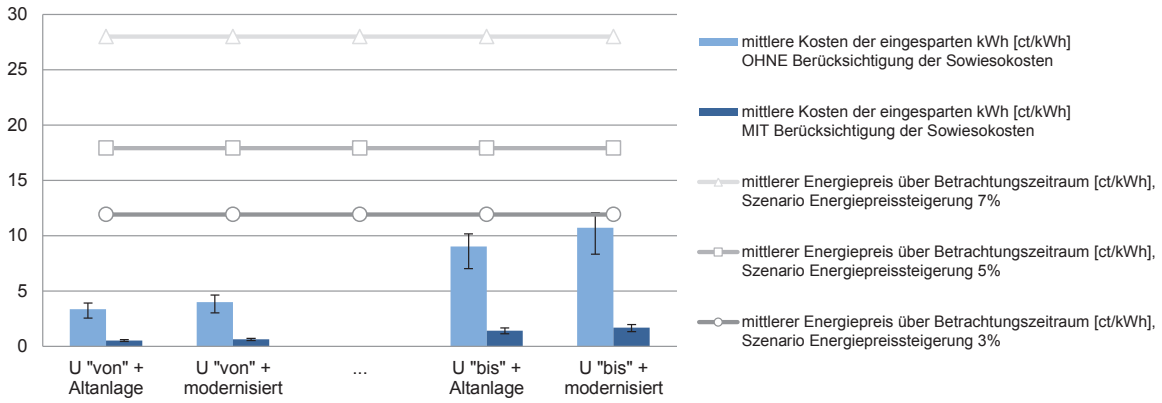
Maßnahme
- **WDVS**
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			12			0		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe			45			0		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: WDVS (Mineralwolle)			55			55		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**242**	**328**	**414**	**53**	**51**	**50**	€/m²	Fassade

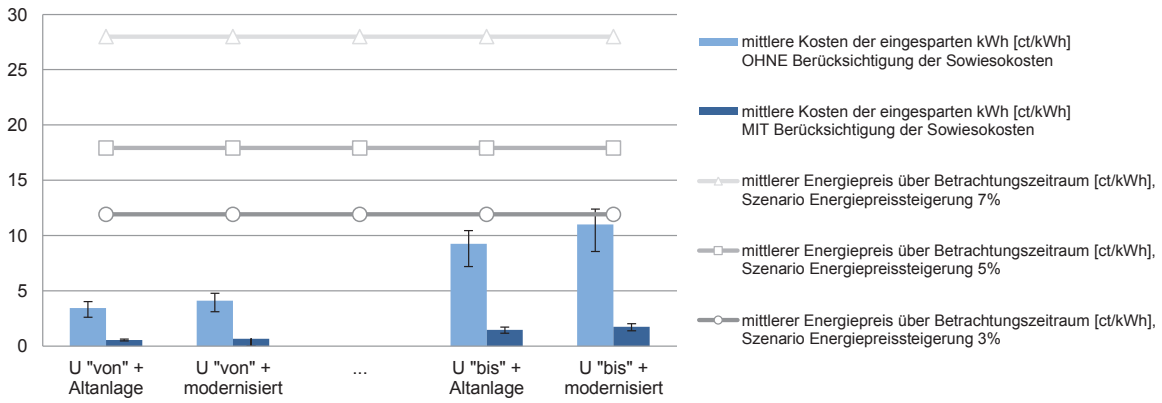
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**455,1**	**71%**	**383,2**	**71%**	**169,0**	**48%**	**142,3**	**48%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	413,0	70%	347,8	70%	147,8	45%	124,5	45%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	529,0	71%	445,5	71%	207,3	49%	174,6	49%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**442,2**	**72%**	**416,0**	**72%**	**189,4**	**50%**	**159,5**	**50%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	401,2	63%	337,9	63%	144,2	38%	121,4	38%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	513,0	66%	432,0	66%	201,7	43%	169,8	43%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,3**	**0,5**	**4,0**	**0,6**	**9,0**	**1,4**	**10,7**	**1,7**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,7	0,6	3,2	0,7	7,6	1,7	9,0	2,0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,6	0,4	4,3	0,5	9,3	1,1	11,0	1,3	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,4**	**0,5**	**4,6**	**0,6**	**10,2**	**1,2**	**12,1**	**1,5**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,8	0,6	3,3	0,7	7,8	1,7	9,2	2,0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,8	0,5	4,5	0,5	9,5	1,2	11,3	1,4	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

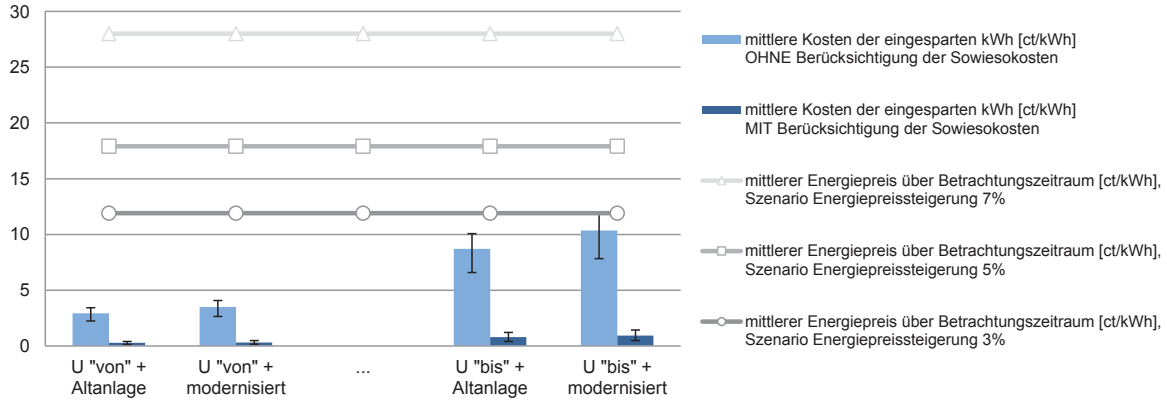
AW-Sk 1.4

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				12			0		€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe				45			0		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: WDVS (Mineralwolle)				55			55		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**227**	**304**	**381**	**39**	**28**	**17**	€/m²	Fassade

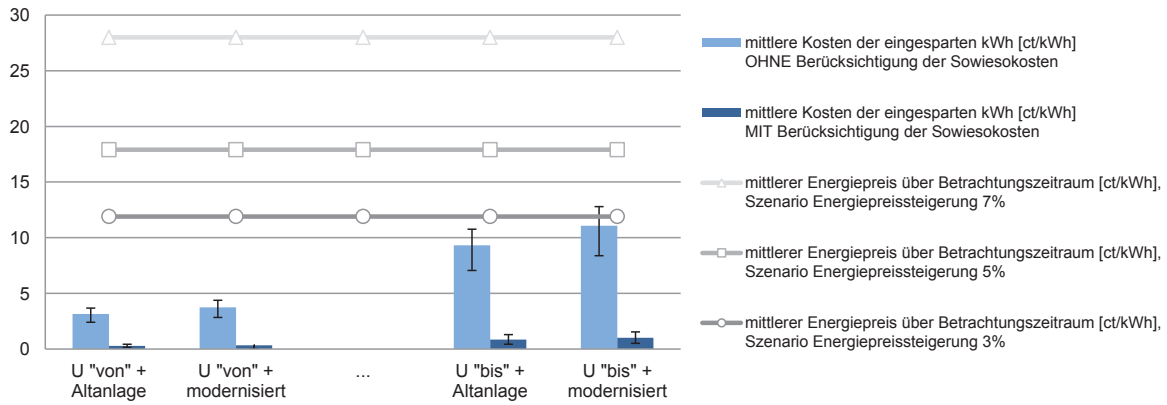
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**482,3**	**68%**	**406,1**	**68%**	**162,2**	**42%**	**136,6**	**42%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	445,0	68%	374,7	68%	148,4	41%	124,9	41%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	550,7	67%	463,7	67%	191,5	42%	161,3	42%	kWh/(m²a)	Fassade
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**448,4**	**68%**	**435,8**	**68%**	**175,8**	**42%**	**148,1**	**42%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	413,2	66%	348,0	66%	138,5	40%	116,6	40%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	510,3	66%	429,8	66%	178,1	40%	150,0	40%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**2,9**	**0,3**	**3,5**	**0,3**	**8,7**	**0,8**	**10,3**	**0,9**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,4	0,4	2,8	0,5	7,1	1,2	8,5	1,4	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,2	0,1	3,8	0,2	9,2	0,4	11,0	0,5	ct/kWh	
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,1**	**0,1**	**4,1**	**0,2**	**10,1**	**0,4**	**11,9**	**0,5**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,6	0,4	3,0	0,5	7,6	1,3	9,1	1,5	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,5	0,2	4,1	0,2	9,9	0,4	11,8	0,5	ct/kWh	

Nutzung: Hotel, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Sportstätte, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- **WDVS**
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Sk 1.5

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

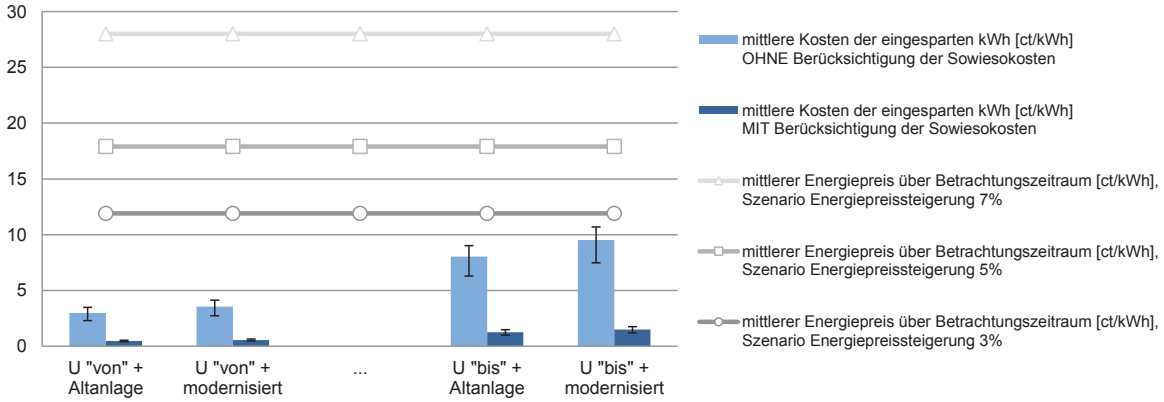
Maßnahme
- **WDVS**
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst		12			0			€/m²	Fassade
Vorbereitung, Verputz, Farbe		45			0			€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: WDVS (Mineralwolle)		55			55			€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -		-			-			€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch		532			48			€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz		226			0			€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**242**	**328**	**414**	**53**	**51**	**50**	€/m²	Fassade

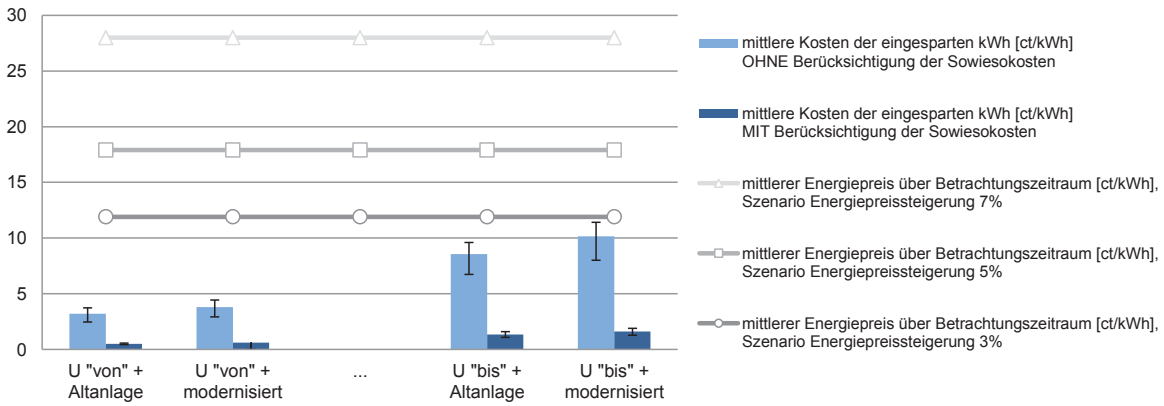
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	0,24	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung								Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**510,1**	**72%**	**429,6**	**72%**	**190,0**	**49%**	**160,0**	**49%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	462,6	71%	389,6	71%	166,0	46%	139,8	46%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	591,1	72%	497,8	72%	232,0	50%	195,4	50%	kWh/(m²a)	Fassade
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**475,1**	**73%**	**467,8**	**73%**	**213,8**	**51%**	**180,0**	**51%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	430,2	69%	362,3	69%	155,5	45%	130,9	45%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	548,9	71%	462,2	71%	216,6	49%	182,4	49%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten											
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,0**	**0,5**	**3,5**	**0,6**	**8,0**	**1,3**	**9,5**	**1,5**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,4	0,5	2,9	0,6	6,8	1,5	8,0	1,8	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,3	0,4	3,9	0,5	8,3	1,0	9,9	1,2	ct/kWh	
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,2**	**0,4**	**4,1**	**0,5**	**9,0**	**1,1**	**10,7**	**1,3**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	2,6	0,6	3,1	0,7	7,2	1,6	8,6	1,9	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,5	0,4	4,2	0,5	8,9	1,1	10,6	1,3	ct/kWh	

Nutzung: Hotel, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Sportstätte, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

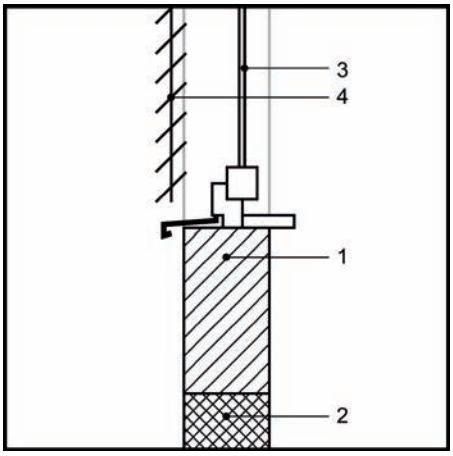


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

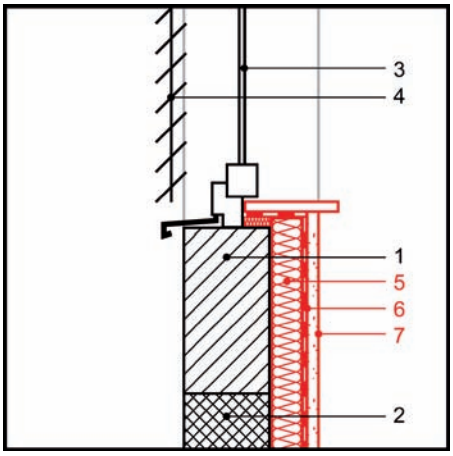
alt **Skelettbauweise, massiv, Loch-, Bandfassade, ungedämmt, Einfach- oder Isolierglas**

neu **Innendämmung**

AW-Sk 2.1

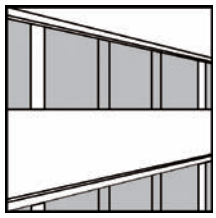


Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Ausfachung (Mauerwerk, Beton)
2 Tragwerk (Stahlbeton)
3 Fenster
4 Sonnenschutz, Bestand
5 Wärmedämmung (neu)
6 Dampfbremse bzw. -sperre (neu)
7 Innenputz (neu)



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 2,5 - 1,0 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,35 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

System

Innendämmungen bestehen in der Regel aus einer Dämmschicht, ggf. einer eingebetteten Tragstruktur, je nach Dämmstoff ggf. mit einer diffusionshemmenden oder -dichten Schicht und einer Deckschicht. Auf der Innenseite der Außenwand werden Dämmplatten vollflächig aufgeklebt oder gedübelt, Hohlräume in der Dämmschicht sind zu vermeiden. Der Untergrund muss entsprechend dem verwendeten System ausreichend eben sein, ggf. muss mit Ausgleichsschichten nachgebessert werden. Je nach Wahl des Dämmstoffes ist entsprechend eine (feuchteadaptive) Dampfbremse raumseitig der Dämmung anzuordnen (Angaben des Systemherstellers beachten!). Bei Verwendung feuchteunempfindlicher oder kapillaraktiver Dämmstoffe (z.B. Kalziumsilikatplatten) wird keine Dampfbremse angeordnet. Bei der Ausführung muss jedoch darauf geachtet werden, dass das Plattenmaterial bündig/kraftschlüssig mit der Bestandskonstruktion angebracht wird, um eine Hinterströmung mit Raumluft zu vermeiden und den Feuchttransport über die Konstruktion auch nach außen zu ermöglichen. Produktabhängig kann die Dämmung entweder direkt verputzt werden (Verbundelement mit integrierter Dampfbremse) oder es wird eine selbsttragende Vorsatzschale auf einer Unterkonstruktion aufgebracht, in der ggf. Installationen geführt werden können. Alternativ kann der Konstruktionsaufbau durch den Einsatz von Vakuumdämmung (VIP) mit einem sehr hohen Wärmedurchlasswiderstand deutlich reduziert werden. Allerdings liegen die Kosten hierfür deutlich über denen konventioneller Dämmstoffe. Zudem sind Nutzungsspezifika zu berücksichtigen, da die VIP durch Dekorationsmaßnahmen (Bildaufhänger, Regale, etc.) beschädigt und ihrer Funktionsweise beeinträchtigt werden können. Dies gilt teilweise auch für die anderen Dämmsysteme bzw. -stoffe, hier sind die Angaben des Systemherstellers unbedingt zu beachten.

Vorteile

Bei einer Dämmmaßnahme von innen bleibt das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes erhalten. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn Fassaden erhaltenswert bzw. stadtbildprägend sind oder unter Denkmalschutz stehen. Die Anbringung einer Innendämmung ist witterungsunabhängig, es ist in der Regel kein Gerüst erforderlich. . Darüber hinaus kann die Maßnahme raumweise durchgeführt werden, wodurch die Möglichkeit besteht, bei einer detaillierten Vorplanung interne Nutzungsabläufe nur geringfügig zu stören.

Besonderheiten

Besonders ältere Gebäude sind häufig erhaltenswert, ihre Fassaden sind stadtbildprägend oder sie stehen ganzheitlich unter Denkmalschutz. Diese Fassaden weisen oftmals einen schlechten Wärmeschutz auf und besitzen teilweise aufwendige Verzierungen, die das Erscheinungsbild des Gebäudes maßgebend prägen. Häufig bleibt bei solchen Gebäuden nur die Möglichkeit zur Dämmung von innen. Eine Dämmmaß-

Skelettbauweise, massive Ausführung.

nahme von innen kann jedoch auch in anderen Bereichen sinnvoll sein, beispielsweise wenn aus rechtlichen Gründen (z.B. Abstandsflächen, Besitzverhältnisse) die Anbringung einer Außendämmung nicht möglich ist. Darüber hinaus ist sie für den nachträglichen Ausbau von Kellerräumen gut geeignet oder in Gebäuden, in denen aufgrund kurzer Nutzungszeiten ein schnelles Aufheizverhalten der Innenräume wünschenswert ist (z.B. Versammlungsräume).

Innendämmungen reduzieren den Wärmedurchgang durch die Gebäudehülle nicht im gleichen Maß, wie es bei Außendämmungen der Fall ist, da üblicherweise geringere Dämmstärken eingesetzt werden und die Verluste über Wärmebrücken von einbindenden Bauteilen überproportional zunehmen können. Durch Innendämmung sinkt insgesamt die Temperatur innerhalb der Massivwand. Daher sind in diesem Bereich geführte Installationsleitungen von Heizung und Wasser einer Frostgefahr ausgesetzt und es müssen entsprechend vorbeugende Maßnahmen (z.B. nachträgliche Dämmung wenn möglich, Verlegung) getroffen werden. Darüber hinaus ist zu beachten, dass sich die Raumfläche reduziert. Außerdem ist eine Befestigung von Bauteilen, z.B. Regalen, erschwert oder wegen der Durchdringung der Dämmschichten ggf. sogar unzulässig.

Winterlicher Wärmeschutz

Beim Einbau innenraumseitiger Dämmschichten fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 einen U-Wert der Wand von U ≤ 0,35 W/ (m²K). In der Regel werden Dämmschichtdicken zwischen 40 - 80 mm eingebaut.

Wärmebrücken

Eine Innendämmung führt zu erhöhten Wärmeverlusten infolge der Wärmebrückeneffekte an den einbindenden Bauteilen, wie beispielsweise Zwischenwänden oder Geschossdecken, da es nicht möglich ist, eine homogene, geschlossene Dämmschicht herzustellen. Die Bauteile durchdringen dementsprechend die Wärmedämmung und binden in die kalte Außenwand ein, wo sie deutlich stärker auskühlen als es ohne Innendämmung der Fall wäre. Um Wärmebrücken zu reduzieren, sollten folglich auch die einbindenden Bauteile an die Dämmebene z.B. mittels Dämmkeilen angeschlossen werden. Anschlüsse an Fenster und Türen sind darüber hinaus luft- und diffusionshemmend bzw. -dicht auszuführen. Laibungen sollten zur Reduzierung von feuchtetechnischen Problemen unbedingt mit mindestens 1 cm starken Dämmstoffstreifen gedämmt werden.

Feuchteschutz

Besonders im Nichtwohngebäudebereich sind in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung geringere Feuchtelasten als bei den Wohngebäuden zu erwarten. Bei einer Innendämmung der Außenwand wird bei niedrigen Außenlufttemperaturen i.d.R. die Taupunkttemperatur innerhalb der Konstruktion unterschritten. Um einen Feuchteeintrag über Diffusion auf einen unkritischen Wert zu reduzieren, muss der Transport von Wasserdampf aus der Raumluft in die Konstruktion durch den Einbau einer Dampfbremse verhindert werden. Als Alternative zu herkömmlichen Folienprodukten werden auch sogenannte feuchteadaptive Dampfbremsen angeboten. Kommen kapillarleitende Dämmstoffe (z.B. Kalziumsilikatplatten) zur Anwendung oder erfolgt die Innendämmung mit diffusionsdichten Dämmstoffen (z.B. Schaumglasplatten), kann in der Regel auf eine Dampfbremse verzichtet werden. Um Bauschäden zu vermeiden, sollte die Vorplanung einer Innendämmung jedoch immer durch einen Fachmann erfolgen. In Abhängigkeit von den nutzungsbedingten raumklimatischen Bedingungen und des Zustands der Konstruktion kann eine hygrothermische Simulation sinnvoll sein.

Luftdichtheit

Bei einer Innendämmmaßnahme ist auf eine luftdichte Ausführung aller Bauteile unbedingt zu achten. Luftdichtheitsschichten können aus Folien hergestellt werden, die, wenn sie einen ausreichend hohen s_d-Wert besitzen, gleichzeitig als Dampfbremse wirksam sind. Eine Luftdichtheitsschicht kann darüber hinaus aber auch aus plattenförmigen Bekleidungen (z.B. Gipskarton- oder Gipsfaserplatten) oder einem Innenputz bestehen. Wichtig ist dabei, die systembedingten Stöße bei Plattenwerkstoffen luftdicht zu verschließen. Es ist auf die fachgerechte Ausführung von Anschlüssen (z.B. Fen-

sterlaibung, angrenzende Bauteile) und Durchdringungen (z. B. Steckdosen) zu achten.

Sommerlicher Wärmeschutz

Durch die Anbringung einer Innendämmung wird die Speichermasse der massiven Wand tendenziell verringert. Ausreichende Speichermasse in Gebäuden ist erforderlich, um Temperaturschwankungen innerhalb eines Gebäudes zu glätten und somit zur thermischen Stabilisierung beizutragen. Es besteht die Möglichkeit, mit einem Latentspeichermaterial (PCM) nachzurüsten. Das Material kann durch die Integration in eine Spachtelmasse oder eine Platte wie jedes konventionelle Bauprodukt verwendet werden. Voraussetzung für akzeptable Innenraumtemperaturen ist in jedem Fall das Vorhandensein eines Sonnenschutzes für die transparenten Bauteilflächen.

Schallschutz

Je nach Wahl des Dämmstoffes kann eine Verbesserung des Luftschallschutzes erzielt werden. Allerdings kann bei der Verwendung von Dämmstoffen mit hoher dynamischer Steifigkeit (z.B. Polystyrol-Hartschaumplatten) aufgrund von Flankenübertragungseffekten und Resonanzen im hörbaren Bereich eine Verschlechterung des Schallschutzes zu angrenzenden Räumen hervorrufen werden. Aus schallschutztechnischer Sicht am sinnvollsten ist daher das Einbringen von Dämmplatten aus weich federnden Dämmstoffen in eine Unterkonstruktion, die möglichst wenige Verbindungsstellen zur Außenwand und den flankierenden Bauteilen aufweist oder über Trennstreifen entkoppelt ist.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar,

die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Sk 2.1

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Innendämmung				199			199		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				-			-		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**139**	**100**	**60**	**139**	**100**	**60**	€/m²	Fassade

energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	0,35	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	wie IST	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**164,9**	**27%**	**138,8**	**27%**	**47,2**	**14%**	**39,8**	**14%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	94,6	16%	79,7	16%	26,5	8%	22,3	8%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	249,7	39%	210,3	39%	73,7	21%	62,1	21%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**159,9**	**15%**	**82,7**	**15%**	**27,9**	**8%**	**23,5**	**8%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	92,0	14%	77,5	14%	26,1	7%	22,0	7%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	242,9	35%	204,6	35%	72,1	18%	60,7	18%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**2,8**	**2,8**	**3,3**	**3,3**	**9,8**	**9,8**	**11,6**	**11,6**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	2,9	2,9	3,5	3,5	10,5	10,5	12,4	12,4	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	2,6	2,6	3,1	3,1	8,8	8,8	10,4	10,4	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**2,9**	**2,8**	**3,4**	**3,4**	**10,0**	**10,0**	**11,8**	**11,8**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	3,0	3,0	3,6	3,6	10,6	10,6	12,6	12,6	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	2,7	2,7	3,2	3,2	9,0	9,0	10,7	10,7	ct/kWh	

Statik: tragend / **nicht tragend**

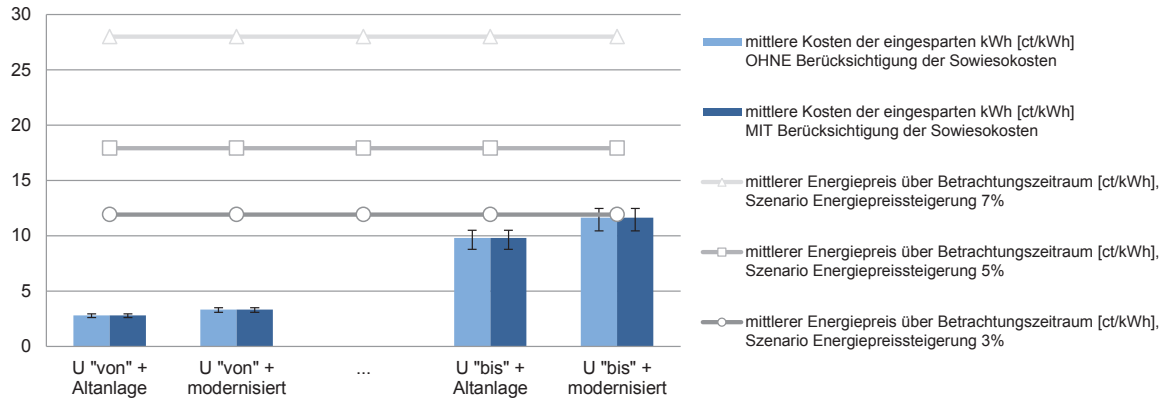
Bauweise: massiv 1-schalig / massiv 2-schalig / **Skelett massiv** / Vorhangfassade

Merkmal: **Lochfassade** / **Bandfassade** / Elementfassade

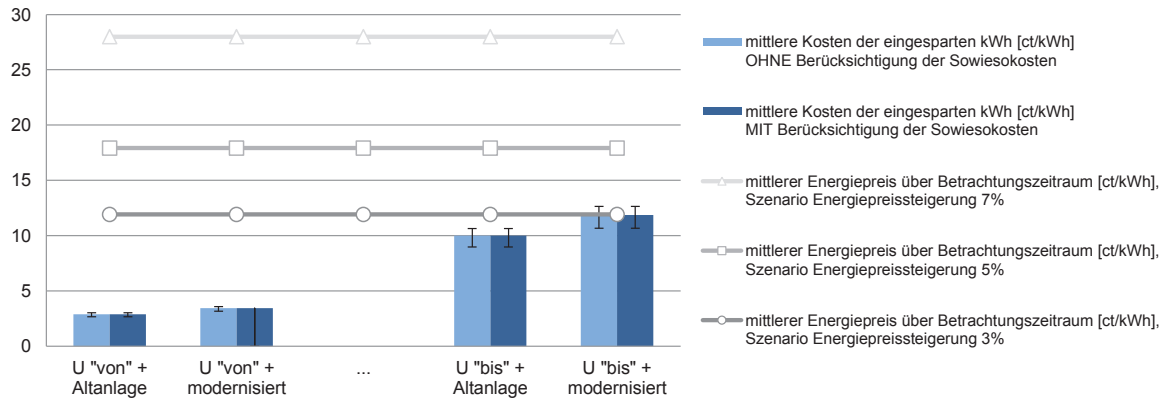
IST-Zustand: **ungedämmt** / **erhaltenswert**

Maßnahme: WDVS / vorgehängte Fassade / **Innendämmung** / Kerndämmung / Fensteraustausch nach EnEV / Fensteraustausch hochwärmedämmend / Fassadenaustausch nach EnEV / Fassadenaustausch hochwärmedämmend

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

AW-Sk 2.1

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

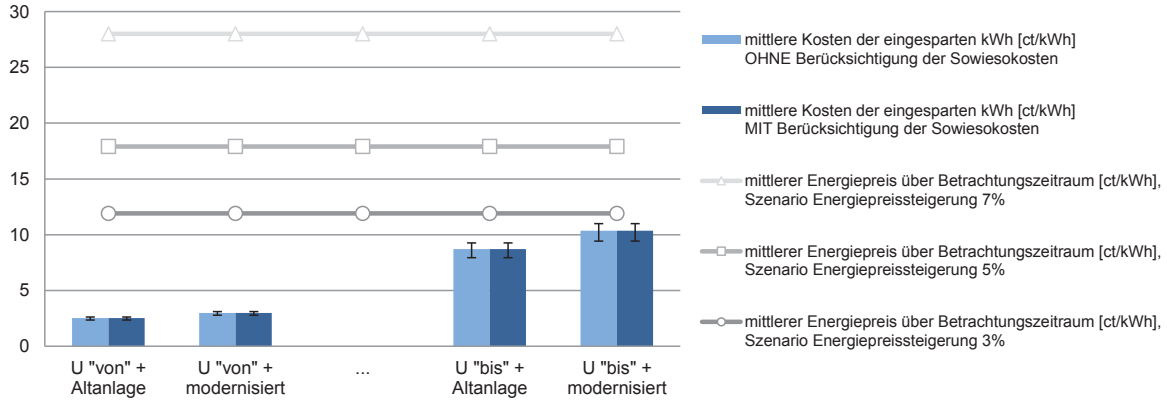
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- **Innendämmung**
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Innendämmung			199			199		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			-			-		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**139**	**100**	**60**	**139**	**100**	**60**	€/m²	Fassade

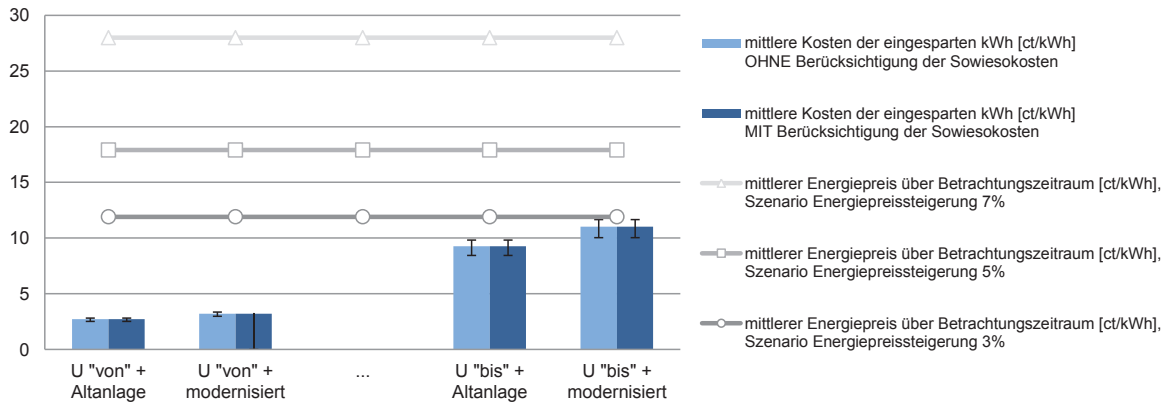
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	0,35	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	wie IST	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung								Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**184,2**	**27%**	**155,1**	**27%**	**53,1**	**14%**	**44,7**	**14%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	106,5	16%	89,7	16%	30,0	8%	25,2	8%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	277,4	40%	233,6	40%	81,6	21%	68,7	21%	kWh/(m²a)	Fassade
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**170,8**	**15%**	**92,6**	**15%**	**31,5**	**8%**	**26,5**	**8%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=70%	Süd	98,7	15%	83,1	15%	28,2	8%	23,8	8%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=30%	Nord	257,8	39%	217,1	39%	76,6	20%	64,5	20%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**2,5**	**2,5**	**3,0**	**3,0**	**8,7**	**8,7**	**10,3**	**10,3**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	2,6	2,6	3,1	3,1	9,3	9,3	11,0	11,0	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	2,3	2,3	2,8	2,8	7,9	7,9	9,4	9,4	ct/kWh	
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**2,7**	**2,5**	**3,0**	**3,0**	**8,8**	**8,8**	**10,5**	**10,5**	ct/kWh	
min	fW=70%	Süd	2,8	2,8	3,3	3,3	9,8	9,8	11,7	11,7	ct/kWh	
max	fW=30%	Nord	2,5	2,5	3,0	3,0	8,4	8,4	10,0	10,0	ct/kWh	

Nutzung: Hotel, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Sportstätte, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

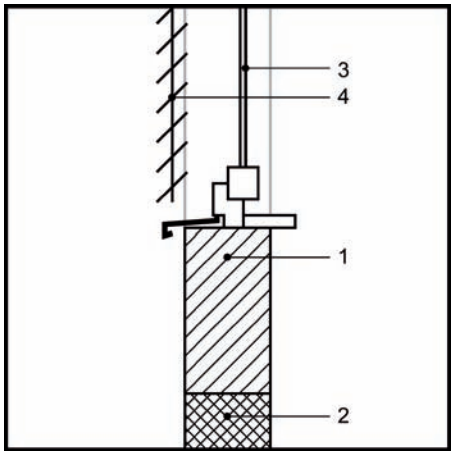


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

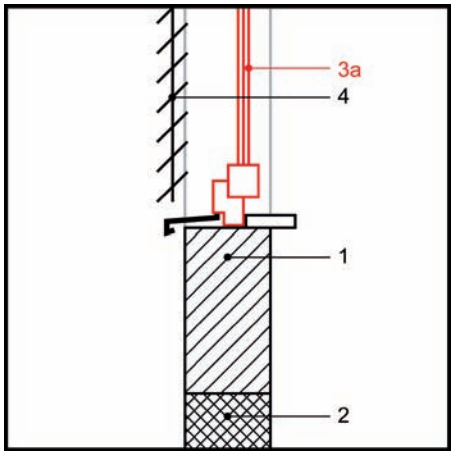
alt **Skelettbauweise, massiv, Loch-, Bandfassade, ungedämmt, Einfach- oder Isolierglas**

neu **Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**

AW-Sk 2.2 / 2.3



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1 Ausfachung (Mauerwerk, Beton)
2 Tragwerk (Stahlbeton)
3 Fenster
3a Fenster, Wärmedämmglas (neu)
4 Sonnenschutz, Bestand

System

Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

Sondergläser stellen nach Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 Schallschutzglas mit einem bewerteten Schalldämmmaß des Glases von $R_{w,R}$ > 40 dB, Sonderaufbauten zur Durchschuss-, Durchbruch- oder Sprengwirkungshemmung sowie Sonderaufbauten als Brandschutzglas dar.

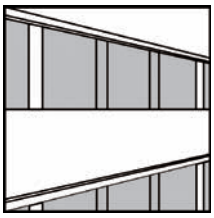
Vorteile

Von besonderem energetischem und wirtschaftlichem Interesse für einen Austausch sind Fenster mit Einfachglas, die nach Einschätzungen des VFF noch einen Bestand von insgesamt etwa 25 Millionen Fenstereinheiten ausmachen. Neben der Einsparung von Heizenergie können bei sachgemäßer Ausführung Wärmebrücken reduziert sowie die Luftdichtheit verbessert werden. Bei Fassaden mit einem hohen Transparenzanteil kann durch die Reduzierung des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases (z.B. Sonnenschutzglas g = 0,35) der sommerliche Wärmeeintrag in den Innenraum verringert werden.

Besonderheiten

Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Viele der im Gebäudebestand vorhandenen Fenster können jedoch die heutigen Anforderungen nicht mehr erfüllen. Alte Fenster sind häufig undicht, wodurch der Luftaustausch mit der Außenluft unkontrolliert erfolgt. Im Winter geht dadurch eine erhebliche Menge an Heizenergie verloren. Durch den entstehenden Luftzug und niedrige Oberflächentemperaturen entsteht häufig ein Gefühl der Unbehaglichkeit und Zugerscheinungen im Innenraum. Auch ein mangelnder Schallschutz kann eine Ursache für eine notwendige Fenstersanierung sein. Eine Fenstersanierung erzeugt neben der Verbesserung dieser Aspekte auch eine weitgehende Luftdichtigkeit der Anschlussdetails, wodurch die Lüftungswärmeverluste zu reduziert werden.

Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelpro-



Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas:	U_w = 5,0 W/(m²K)
	U_g = 5,8 W/(m²K)
	g = 0,87
Zweifachglas:	U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
	U_g = 2,9 W/(m²K)
	g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009

U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch:	U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas:	U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
	U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert

U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Skelettbauweise, massive Ausführung.

file, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Soll das bestehende Fenster oder das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes, erhalten bleiben oder besitzt es historische, gut erhaltene Fenster, kann der Wärmschutz der Fenster durch das Anbringen eines zusätzlichen Glases von Innen verbessert werden. Bei dieser Konstruktionsart wird ein Einfachfenster nachträglich zum Kastenfenster aufgewertet. Das innere Fenster übernimmt primär die Wärme- und Schallschutzfunktion, während das alte, äußere Glas dem Witterungsschutz dient und die Optik erhalten bleibt. Es ist zudem der Einbau moderner Fenster als historische Nachbildung möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 stellt Mindestanforderungen an Fenster in bestehenden Gebäuden, falls diese ausgetauscht oder ersetzt werden. Der U_W-Wert der Fenster darf einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C betragen. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten keine Anforderungen. Die Anforderungen gelten jedoch nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme des vorgeschriebenen Glases ungeeignet ist. Wird ausschließlich das Glas eines Fensters ausgetauscht und ist die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahme aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn ein Glas mit einem U_g-Wert ≤ 1,3 W/(m²K) eingebaut wird. Darüber hinaus gelten spezielle Anforderungen bei Sondergläsern. Hier gilt ein maximaler U_W-Wert von 2,0 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Temperaturen von mindestens 19 °C sowie $U_W \leq 2{,}8$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Die Anforderungen gelten nicht bei Schaufenstern und Türanlagen aus Glas.

Wärmebrücken

Um Wärmebrücken zu reduzieren, kann fallspezifisch entschieden werden, bei einem Austausch das Fenster bündig zur Fassade zu setzen. Bei einer späteren Dämmmaßnahme können auf diese Weise die Wärmebrücken in den Fensterlaibungen und darüber hinaus die starke Zunahme der Laibungstiefen und somit die Entstehung von sogenannten „Schießscharten“ vermieden werden. Wird das Fenster nicht versetzt, ist bei der späteren Anbringung eines WDV-Systems auf die ausreichende Dämmung der Fensterlaibung zu achten.

Feuchteschutz

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anforderungen nach EnEV an die Fugendurchlässigkeit sind zu berücksichtigen.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik

integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

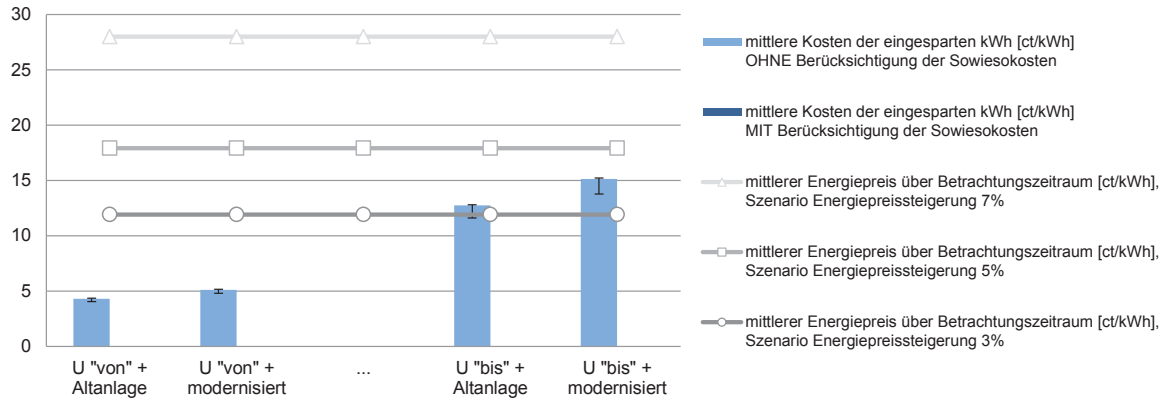
AW-Sk 2.2

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**145**	**242**	**339**	**0**	**0**	**0**	€/m²	Fassade

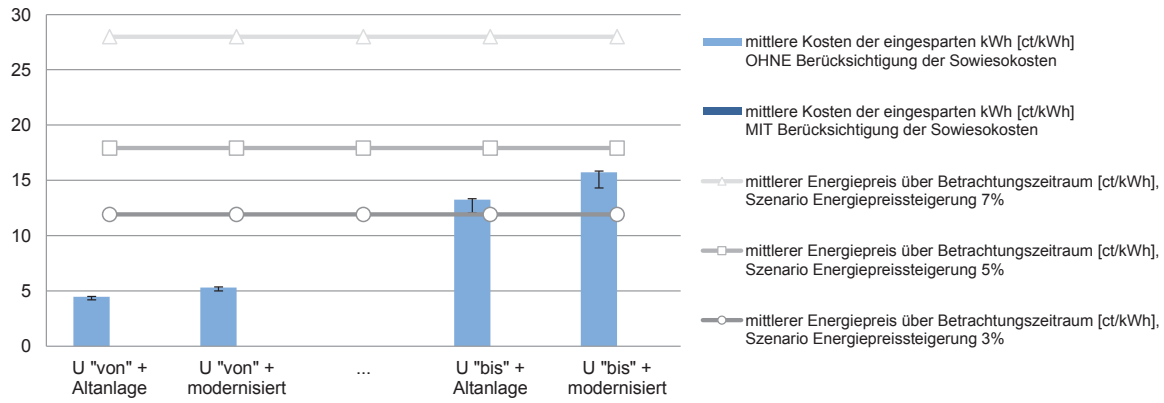
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**261,5**	**41%**	**220,2**	**41%**	**88,2**	**25%**	**74,3**	**25%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	157,6	26%	132,7	26%	52,9	16%	44,6	16%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	385,9	52%	325,0	52%	135,2	32%	113,9	32%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**251,9**	**53%**	**304,9**	**53%**	**122,9**	**33%**	**103,5**	**33%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	151,3	24%	127,4	24%	50,6	13%	42,6	13%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	372,4	48%	313,6	48%	130,7	28%	110,0	28%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0**	**5,1**	**0**	**12,7**	**0**	**15,1**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,3	0	5,1	0	12,8	0	15,1	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0	4,8	0	11,6	0	13,8	0	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,5**	**0**	**5,2**	**0**	**12,8**	**0**	**15,2**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,5	0	5,3	0	13,3	0	15,8	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0	5,0	0	12,0	0	14,3	0	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Sk 2.3

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

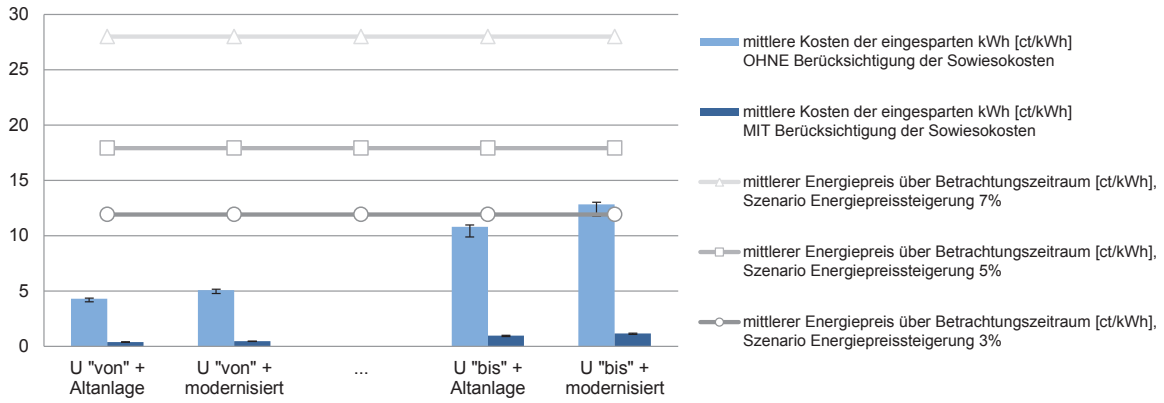
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**160**	**266**	**372**	**14**	**24**	**34**	€/m²	Fassade

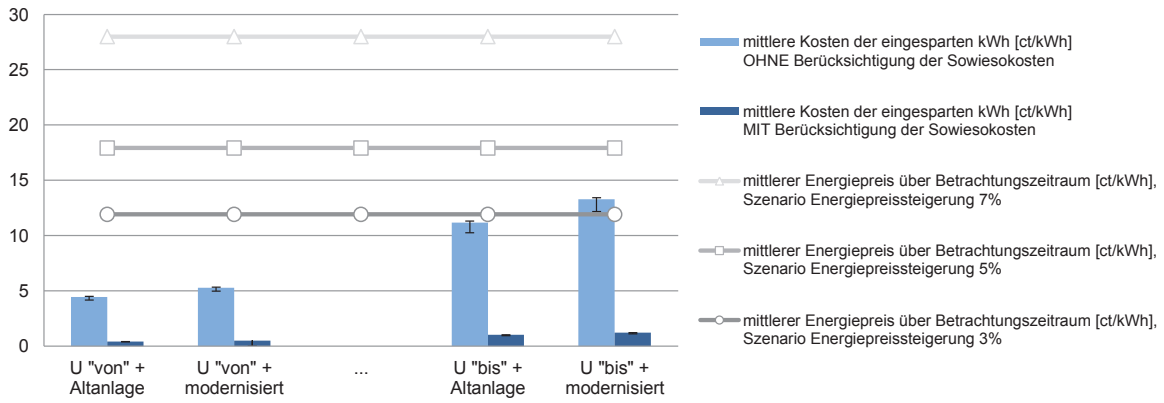
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**288,7**	**45%**	**243,1**	**45%**	**114,4**	**32%**	**96,3**	**32%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	174,5	29%	146,9	29%	69,2	21%	58,3	21%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	424,2	57%	357,3	57%	172,5	41%	145,3	41%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**278,5**	**58%**	**335,2**	**58%**	**157,8**	**42%**	**132,9**	**42%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	167,8	26%	141,3	26%	66,6	18%	56,1	18%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	409,8	53%	345,1	53%	167,3	36%	140,9	36%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,3**	**0,4**	**5,1**	**0,5**	**10,8**	**1,0**	**12,8**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,2	0,4	5,0	0,5	10,7	1,0	12,7	1,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0,4	4,8	0,4	10,0	0,9	11,9	1,1	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,4**	**0,4**	**5,2**	**0,5**	**11,0**	**1,0**	**13,0**	**1,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,4	0,4	5,2	0,5	11,1	1,0	13,2	1,2	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,2	0,4	5,0	0,5	10,3	0,9	12,3	1,1	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

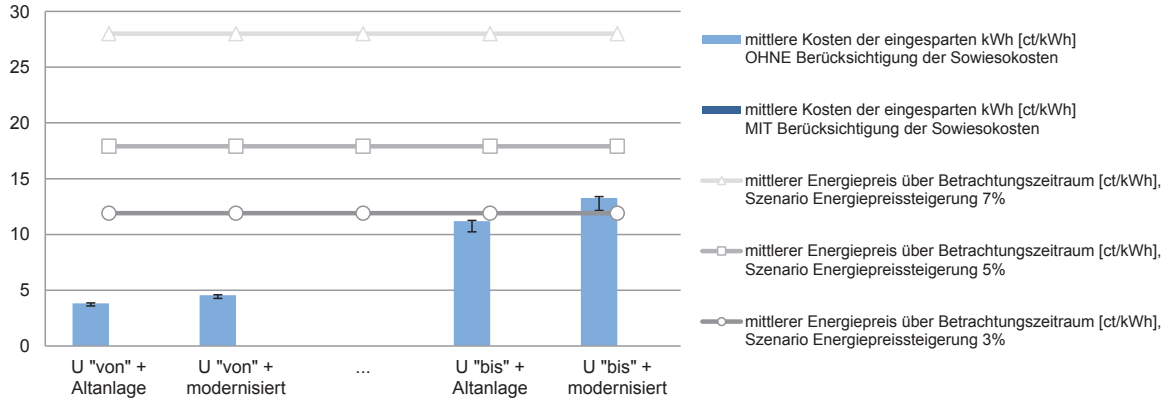
AW-Sk 2.2

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**145**	**242**	**339**	**0**	**0**	**0**	€/m²	Fassade

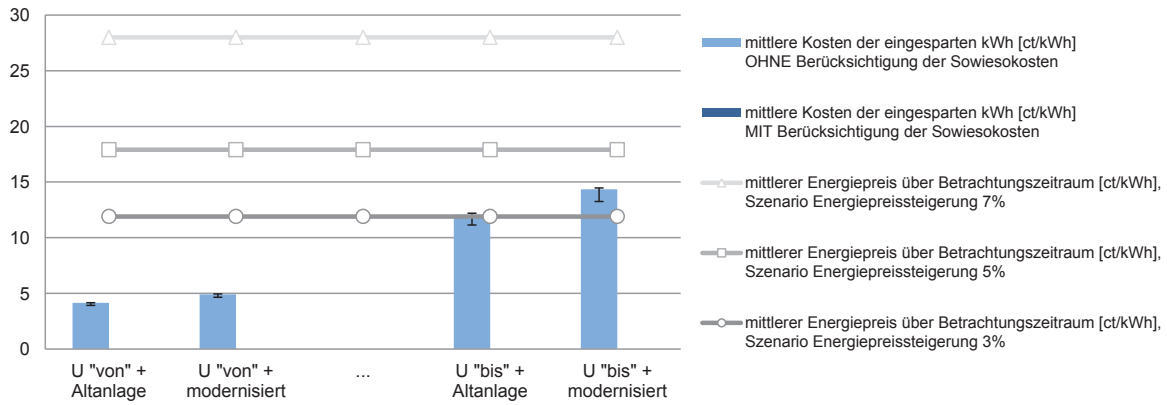
energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**294,7**	**42%**	**248,2**	**42%**	**100,5**	**26%**	**84,7**	**26%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	177,9	27%	149,8	27%	60,4	17%	50,9	17%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	432,9	53%	364,5	53%	152,3	33%	128,3	33%	kWh/(m²a)	Fassade
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**271,7**	**54%**	**343,8**	**54%**	**139,7**	**34%**	**117,6**	**34%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	163,3	26%	137,5	26%	55,3	16%	46,6	16%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	399,3	52%	336,3	52%	141,0	32%	118,8	32%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,8**	**0**	**4,5**	**0**	**11,2**	**0**	**13,3**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	3,8	0	4,5	0	11,2	0	13,3	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,6	0	4,3	0	10,3	0	12,3	0	ct/kWh	
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,1**	**0**	**4,6**	**0**	**11,3**	**0**	**13,4**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,1	0	4,9	0	12,2	0	14,5	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,9	0	4,7	0	11,2	0	13,3	0	ct/kWh	

Nutzung: Hotel, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Sportstätte, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Sk 2.3

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

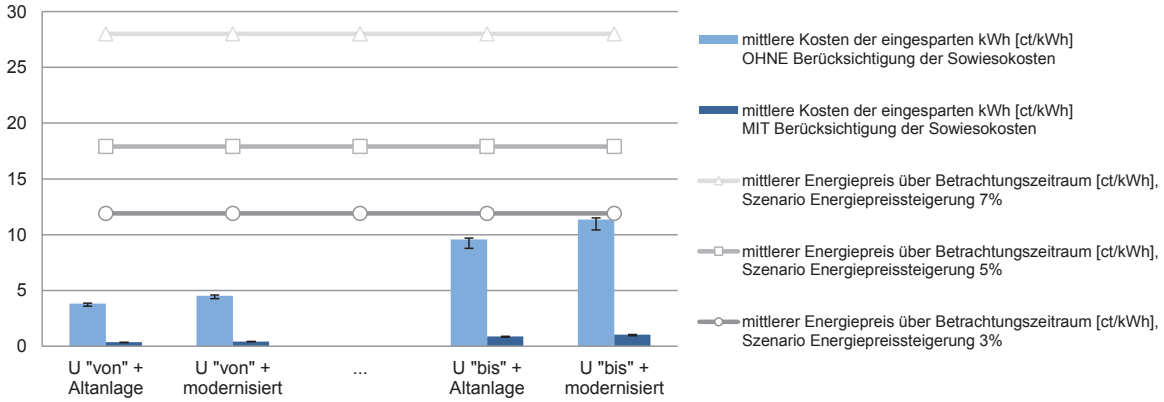
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**160**	**266**	**372**	**14**	**24**	**34**	€/m²	Fassade

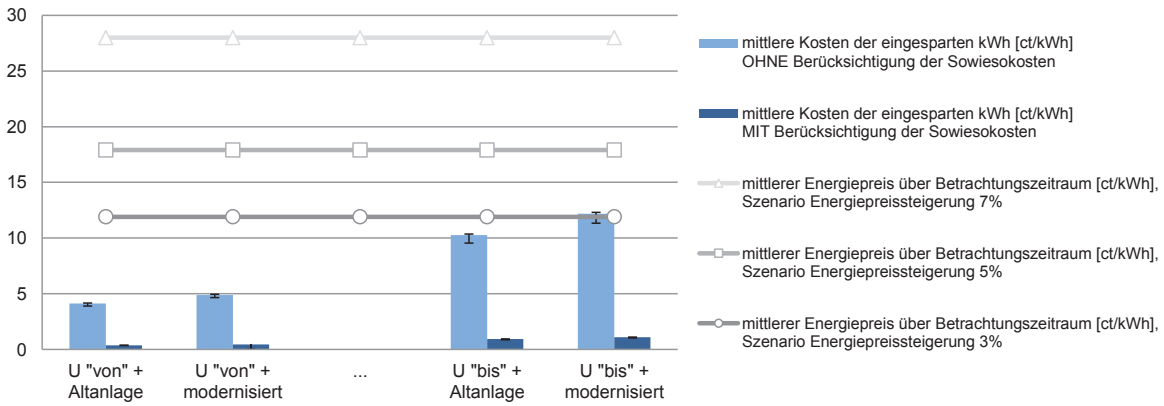
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	wie IST	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung								Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**324,8**	**46%**	**273,5**	**46%**	**129,3**	**33%**	**108,9**	**33%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	196,8	30%	165,7	30%	78,4	22%	66,0	22%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	475,1	58%	400,1	58%	193,6	42%	163,1	42%	kWh/(m²a)	Fassade
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**300,0**	**59%**	**377,8**	**59%**	**178,5**	**43%**	**150,3**	**43%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	180,8	29%	152,2	29%	72,4	21%	61,0	21%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	439,1	57%	369,8	57%	180,2	41%	151,7	41%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,8**	**0,3**	**4,5**	**0,4**	**9,6**	**0,9**	**11,3**	**1,0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	3,8	0,3	4,5	0,4	9,5	0,9	11,2	1,0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,6	0,3	4,3	0,4	8,9	0,8	10,6	1,0	ct/kWh	
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,1**	**0,3**	**4,6**	**0,4**	**9,7**	**0,9**	**11,5**	**1,0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	4,1	0,4	4,9	0,4	10,2	0,9	12,2	1,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,9	0,4	4,7	0,4	9,6	0,9	11,4	1,0	ct/kWh	

Nutzung: Hotel, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



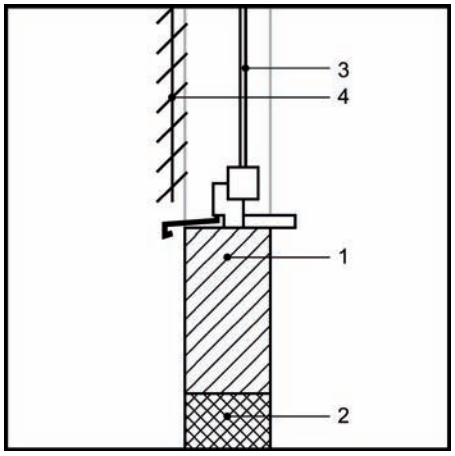
Nutzung: Sportstätte, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

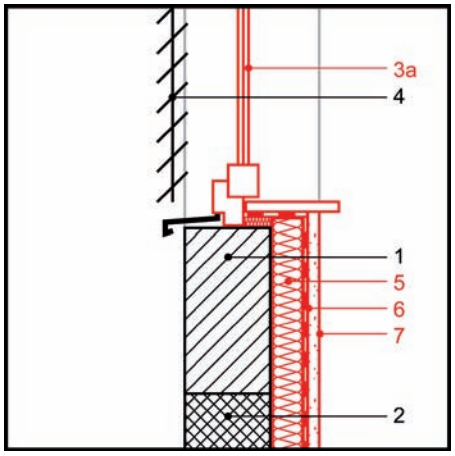
AW-Sk 2.4 / 2.5

alt **Skelettbauweise, massiv, Loch-, Bandfassade, ungedämmt, Einfach- oder Isolierglas**



Ausgangssituation

neu **Innendämmung und Fensteraustausch EnEV (2009)-Standard und verbessert**



Sanierungsmaßnahme

1 Ausfachung (Mauerwerk, Beton)
2 Tragwerk (Stahlbeton)
3 Fenster
3a Fenster, Wärmedämmglas (neu)
4 Sonnenschutz, Bestand
5 Wärmedämmung (neu)
6 Dampfbremse bzw. -sperre (neu)
7 Innenputz (neu)

System

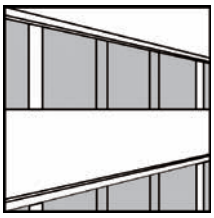
Innendämmungen bestehen in der Regel aus einer Dämmschicht, ggf. einer eingebetteten Tragstruktur, je nach Dämmstoff ggf. mit einer diffusionshemmenden oder -dichten Schicht und einer Deckschicht. Auf der Innenseite der Außenwand werden Dämmplatten vollflächig aufgeklebt oder gedübelt, Hohlräume in der Dämmschicht sind zu vermeiden. Der Untergrund muss entsprechend dem verwendeten System ausreichend eben sein, ggf. muss mit Ausgleichsschichten nachgebessert werden. Je nach Wahl des Dämmstoffes ist entsprechend eine (feuchteadaptive) Dampfbremse raumseitig der Dämmung anzuordnen (Angaben des Systemherstellers beachten!). Produktabhängig kann die Dämmung entweder direkt verputzt werden (Verbundelement mit integrierter Dampfbremse) oder es wird eine selbsttragende Vorsatzschale auf einer Unterkonstruktion aufgebracht, in der ggf. Installationen geführt werden können. Alternativ kann der Konstruktionsaufbau durch den Einsatz von Vakuumdämmung (VIP) mit einem sehr hohen Wärmedurchlasswiderstand deutlich reduziert werden. Allerdings liegen die Kosten hierfür deutlich über denen konventioneller Dämmstoffe. Zudem sind Nutzungsspezifika zu berücksichtigen, da die VIP durch Dekorationsmaßnahmen (Bildaufhänger, Regale, etc.) beschädigt und ihrer Funktionsweise beeinträchtigt werden können. Dies gilt teilweise auch für die anderen Dämmsysteme bzw. -stoffe, hier sind die Angaben des Systemherstellers unbedingt zu beachten.

Zusätzlich erfolgt in Kombination der Fensteraustausch. Es kann als marktüblich angenommen werden, dass vorhandene Fenster durch solche mit 2- bzw. 3-fach Wärmedämmglas ausgetauscht werden. Die Scheibenzwischenräume sind mit Edelgas gefüllt, zudem befindet sich auf der Scheibeninnenseite eine Low-E-Beschichtung. In Verbindung mit Holz- oder Kunststoffrahmen und hochwärmegedämmten Aluminiumkonstruktionen ergeben sich standardmäßig bei 2-fach Wärmedämmglas U_w-Werte von 1,3 W/(m²K) und g-Werte von 0,6, bei 3-fach Wärmedämmglas U_w= 0,95 W/(m²K) und g-Werte von 0,6. Je nach Ausführungsdetails können die U- und g-Werte davon auch abweichen.

Vorteile

Bei einer Dämmmaßnahme von innen bleibt das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes erhalten. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn Fassaden erhaltenswert bzw. stadtbildprägend sind oder unter Denkmalschutz stehen. Eine Innendämmung ist witterungsunabhängig anzubringen.

Der gleichzeitige Austausch der Fenster besitzt den Vorteil die Durchführung der einzelnen Gewerke besser aufeinander abstimmen zu können, insbesondere die Anschlusspunkte zwischen Fenster und Dämmebene. Bei einer Kombination der Maßnahmen kann der Durchführungszeitraum reduziert werden, da parallel verschiedene Gewerke gleichzeitig arbeiten. Somit kann die Nutzungsbeeinträchtigung, die in



Außenwand: U-Werte vorhanden
U = 2,5 - 1,0 W/(m²K)

Außenwand: U-Wert nach EnEV 2009
U = 0,35 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U = 0,35 W/(m²K) (von 12 °C bis unter 19 °C)

Fenster: U-Werte vorhanden

Einfachglas:	U_w = 5,0 W/(m²K)
	U_g = 5,8 W/(m²K)
	g = 0,87
Zweifachglas:	U_w = 4,3 - 2,7 W/(m²K)
	U_g = 2,9 W/(m²K)
	g = 0,76

Fenster: U-Wert nach EnEV 2009
U_w = 1,3 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_w = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt:

Glasaustausch:	U_w = 1,1 W/(m²K)
Sonderglas:	U_w = 2,0 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
	U_w = 2,8 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)

Fenster U-Wert verbessert
U_w = 0,95 W/(m²K), g = 0,60

Skelettbauweise, massive Ausführung.

dieser Zeit durch Baulärm und ähnliche Störquellen entsteht, möglichst gering gehalten werden.

Besonderheiten

Besonders ältere Gebäude sind häufig erhaltenswert, ihre Fassaden sind stadtbildprägend oder sie stehen ganzheitlich unter Denkmalschutz. Diese Fassaden weisen oftmals einen schlechten Wärmeschutz auf und besitzen teilweise aufwendige Verzierungen, die das Erscheinungsbild des Gebäudes maßgebend prägen. Häufig bleibt bei solchen Gebäuden nur die Möglichkeit zur Dämmung von innen. Eine Dämmmaßnahme von innen kann jedoch auch in anderen Bereichen sinnvoll sein, beispielsweise wenn aus rechtlichen Gründen (z.B. Abstandsflächen, Besitzverhältnisse) die Anbringung einer Außendämmung nicht möglich ist. Darüber hinaus ist sie für den nachträglichen Ausbau von Kellerräumen gut geeignet oder in Gebäuden, in denen aufgrund kurzer Nutzungszeiten ein schnelles Aufheizverhalten der Innenräume wünschenswert ist (z.B. Versammlungsräume). Bei der Vorplanung ist zu berücksichtigen, dass sich die Raumfläche reduziert und ggf. Installationen wie Heizkörper und Rohrleitungen verlegt werden müssen.

Durch den zusätzlichen Fensteraustausch können Anschlussdetails fachgerecht ausgeführt und Wärmebrücken reduziert werden. Bei Nichtwohngebäuden liegt der Fensterflächenanteil oft bei 50 % oder mehr, weshalb das Fenster in Bezug auf Wärme-, Schall- und sommerlichen Wärmeschutz der Fassade eine zentrale Rolle einnimmt. Das Fenster bietet im Sanierungsfall viele unterschiedliche Ansatzpunkte: Von der Sanierung der Anschlussfugen, über die Ertüchtigung der Rahmen- und Flügelprofile, das Auswechseln der Gläser bis zur vollständigen Erneuerung des gesamten Fensters. Die technische Machbarkeit sollte fallspezifisch durch einen Fachbetrieb geprüft werden. Soll das bestehende Fenster oder das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes, beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes, erhalten bleiben oder besitzt es historische, gut erhaltene Fenster, kann der Wärmschutz der Fenster durch das Anbringen eines zusätzlichen Glases von Innen verbessert werden. Bei dieser Konstruktionsart wird ein Einfachfenster nachträglich zum Kastenfenster aufgewertet. Das innere Fenster übernimmt primär die Wärme- und Schallschutzfunktion, während das alte, äußere Glas dem Witterungsschutz dient und die Optik erhalten bleibt. Es ist zudem der Einbau moderner Fenster als historische Nachbildung möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Beim Einbau innenraumseitiger Dämmschichten fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 einen U-Wert der Wand von U ≤ 0,35 W/ (m²K). In der Regel werden Dämmschichtdicken zwischen 40 - 80 mm eingebaut. Für den Fensteraustausch gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der U_W-Wert der Fenster einschließlich Rahmenanteil maximal 1,3 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie U_W ≤ 1,9 W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C nicht überschreitet, wenn das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird oder zusätzliche Vor- oder Innenfenster eingebaut werden. Wird das Glas ersetzt, ist bei beheizten Nichtwohngebäuden ein U_g-Wert von maximal 1,1 W/(m²K) für das Glas einzuhalten, sofern die Stärke des Rahmenmaterials dies zulässt. Bei Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C gelten hier keine Anforderungen. In Sonderfällen gelten weitere Anforderungen, die entweder der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 oder der Beschreibung der Einzelmaßnahme Fensteraustausch zu entnehmen sind.

Wärmebrücken

Bei der Maßnahmenkombination Innendämmung und Fensteraustausch ergibt sich der Vorteil, dass Wärmebrücken reduziert werden können, indem eine abgestimmte Gesamtplanung im Vorfeld vorgenommen wird. Bei der Maßnahmenkombination ist es in der Regel mit geringerem Aufwand verbunden, die Fenster in die Dämmebene einzubinden und die innenliegende Dämmebene auch im Laibungs-, Sturz- und Brüstungsbereich weiterzuführen. Anschlüsse an Fenster und Türen sind darüber hinaus luft- und diffusionshemmend bzw. -dicht auszuführen.

Feuchteschutz

Besonders im Nichtwohngebäudebereich sind in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung geringere Feuchtelasten als bei den Wohngebäuden zu erwarten. Bei einer Innendämmung der Außenwand wird bei niedrigen Außenlufttemperaturen i.d.R. die Taupunkttemperatur innerhalb der Konstruktion unterschritten. Um einen Feuchteeintrag über Diffusion auf einen unkritischen Wert zu reduzieren, muss der Transport von Wasserdampf aus der Raumluft in die Konstruktion durch den Einbau einer Dampfbremse verhindert werden. Als Alternative zu herkömmlichen Folienprodukten werden auch sogenannte feuchteadaptive Dampfbremsen angeboten. Kommen kapillarleitende Dämmstoffe (z.B. Kalziumsilikatplatten) zur Anwendung oder erfolgt die Innendämmung mit diffusionsdichten Dämmstoffen (z.B. Schaumglasplatten), kann in der Regel auf eine Dampfbremse verzichtet werden. Um Bauschäden zu vermeiden, sollte die Vorplanung einer Innendämmung jedoch immer durch einen Fachmann erfolgen. In Abhängigkeit von den nutzungsbedingten raumklimatischen Bedingungen und des Zustands der Konstruktion kann eine hygrothermische Simulation sinnvoll sein.

Durch den Einbau neuer Fenster können die inneren Oberflächentemperaturen erhöht werden, was sich positiv auf den Feuchteschutz auswirkt. Die erhöhte Temperatur vermindert die Gefahr von Tauwasserbildung im Bereich der Fensterlaibung und am Glas. Es ist darauf zu achten, dass die äußeren Anschlüsse schlagregendicht ausgeführt werden.

Luftdichtheit

Bei einer Innendämmmaßnahme ist auf eine luftdichte Ausführung aller Bauteile unbedingt zu achten. Luftdichtheitsschichten können aus Folien hergestellt werden, die, wenn sie einen ausreichend hohen s_d-Wert besitzen, gleichzeitig als Dampfbremse wirksam sind. Eine Luftdichtheitsschicht kann darüber hinaus aber auch aus plattenförmigen Bekleidungen (z.B. Gipskarton- oder Gipsfaserplatten) oder einem Innenputz bestehen. Wichtig ist dabei, die systembedingten Stöße bei Plattenwerkstoffen luftdicht zu verschließen. Es ist auf die fachgerechte Ausführung von Anschlüssen (z.B. Fensterlaibung, angrenzende Bauteile) und Durchdringungen (z. B. Steckdosen) zu achten.

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche innere Fensteranschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Die Anschlussproblematik zwischen Fenster und Wandbereich gestaltet sich im Regelfall bei der Kombination der Maßnahmen einfacher als bei zeitlich versetzter Durchführung der Einzelmaßnahmen. Luftdichtheitsebenen wie innenliegende Folien können direkt mit dem Fenster verklebt werden, da die Anschlüsse ohnehin neu ausgebildet werden müssen

Sommerlicher Wärmeschutz

Durch die Anbringung einer Innendämmung wird die Speichermasse der massiven Wand tendenziell verringert. Ausreichende Speichermasse in Gebäuden ist erforderlich, um Temperaturschwankungen innerhalb eines Gebäudes zu glätten und somit zur thermischen Stabilisierung beizutragen. Es besteht die Möglichkeit, mit einem Latentspeichermaterial (PCM) nachzurüsten. Das Material kann durch die Integration in eine Spachtelmasse oder eine Platte wie jedes konventionelle Bauprodukt verwendet werden.

Der Wärmeeintrag über transparente Bauteile wird im Wesentlichen durch den g_{total}-Wert bestimmt, der zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes so gering wie möglich ausfallen sollte. Dieser ergibt sich durch das Fenster inklusive Sonnenschutz. Je nach Orientierung und Transparenzanteil der Fassade bzw. des Fensters ist ein entsprechender Sonnenschutz erforderlich. Um ein Nachtlüftungskonzept zu realisieren, kann das automatische Öffnen und Schließen der Fenster in die Gebäudeleittechnik integriert werden, wodurch die Raumtemperaturen in den Sommermonaten reduziert werden können. Ebenso können sich passive Kühlmöglichkeiten positiv auswirken.

Schallschutz

Je nach Wahl des Dämmstoffes kann eine Verbesserung des Luftschallschutzes erzielt werden. Allerdings kann bei der Verwendung von Dämmstoffen mit hoher dynamischer Steifigkeit (z.B. Polystyrol-Hartschaumplatten) aufgrund von Flankenübertragungseffekten und Resonanzen im hörbaren Bereich eine Verschlechterung des Schallschutzes zu angrenzenden Räumen hervorrufen werden. Aus schallschutztechnischer Sicht am sinnvollsten ist daher das Einbringen von Dämmplatten aus weich federnden Dämmstoffen in eine Unterkonstruktion, die möglichst wenige Verbindungsstellen zur Außenwand und den flankierenden Bauteilen aufweist oder über Trennstreifen entkoppelt ist. Die gute Schalldämmung eines Fensters wird vor allem durch folgende Parameter erreicht: Dicke und asymmetrischer Aufbau des Glases, schalltechnische Qualität des Blendrahmens und des Flügelrahmens, Dichtung des Blendrahmens gegen den Flügelrahmen sowie Anschluss des Fensters an den Baukörper. Das Schalldämmmaß setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Wand und des Fensters. Bei besonderen Belastungen empfiehlt sich der Einbau von Schallschutzfenstern, vorgeschrieben sind diese bei Bauten in Flugplatznähe (Fluglärmschutzgesetz) sowie Bauten in Bahn- und Schnellstraßennähe.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Nach Paragraph 28 Satz 1 der Musterbauordnung sind Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen oder Schürzen so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten der Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems. Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen nach Musterbauordnung einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein, Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt ist.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Sk 2.4

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Innendämmung				199			199		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**285**	**342**	**399**	**139**	**100**	**60**	€/m²	Fassade

energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	0,35	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**410,1**	**66%**	**345,4**	**66%**	**130,7**	**39%**	**110,0**	**39%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	366,4	67%	308,6	67%	110,7	38%	93,2	38%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	487,1	66%	410,2	66%	165,4	39%	139,3	39%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**398,1**	**67%**	**370,6**	**67%**	**144,2**	**40%**	**121,5**	**40%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	356,3	60%	300,0	60%	107,7	31%	90,7	31%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	471,8	61%	397,3	61%	160,4	34%	135,1	34%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,9**	**1,1**	**4,6**	**1,3**	12,1	**3,5**	14,4	**4,2**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,6	1,8	4,3	2,1	11,9	5,8	14,2	6,9	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,8	0,6	4,5	0,7	11,2	1,7	13,3	2,0	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,0**	**0,6**	**5,0**	**0,7**	**12,8**	**1,9**	**15,2**	**2,3**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,7	1,8	4,4	2,2	12,3	6,0	14,6	7,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,9	0,6	4,7	0,7	11,5	1,7	13,7	2,1	ct/kWh	

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

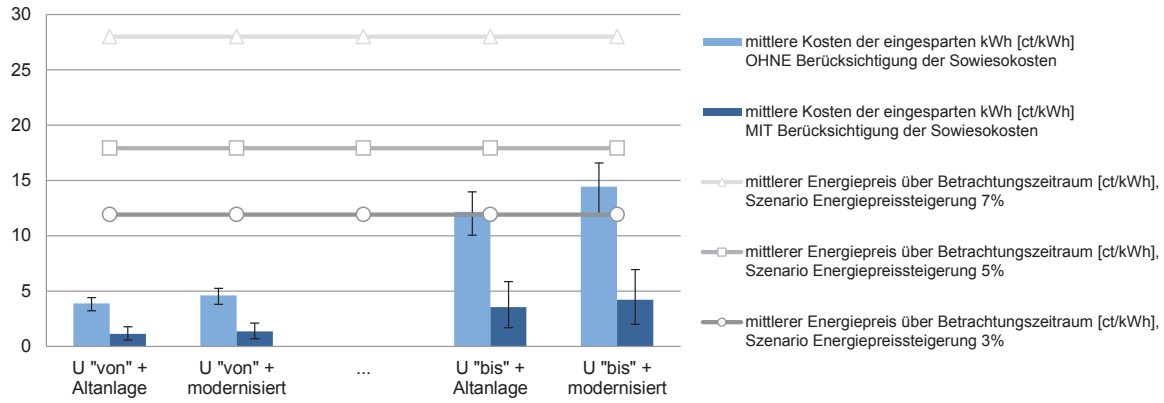
Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

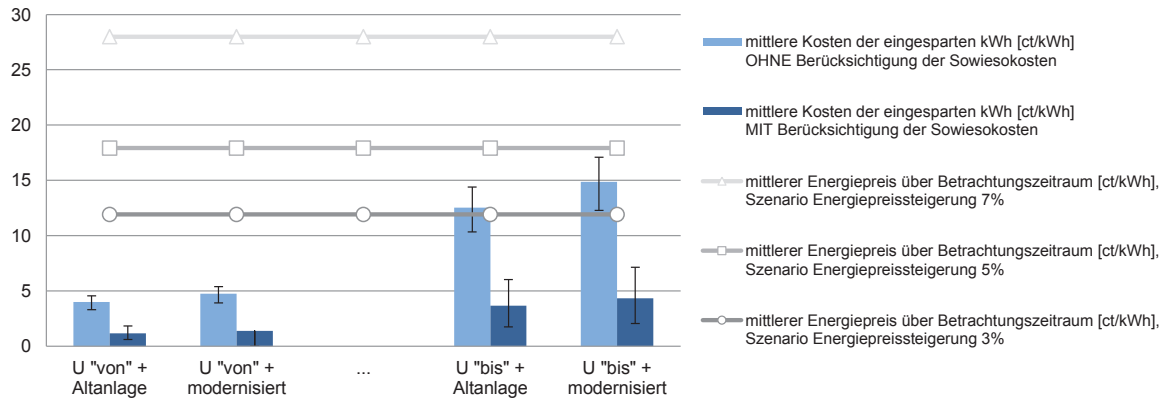
IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- **Innendämmung**
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

AW-Sk 2.5

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

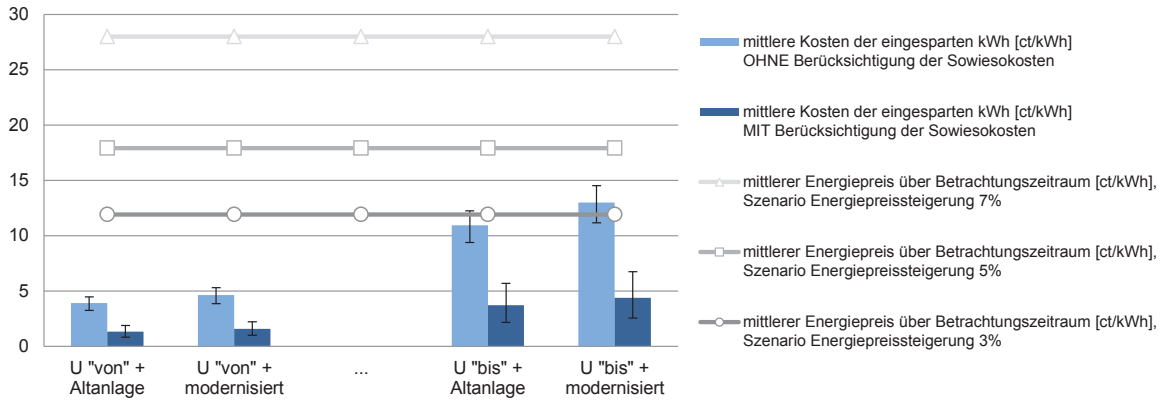
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- **Innendämmung**
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst			-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Innendämmung			199			199		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**299**	**366**	**432**	**154**	**124**	**93**	€/m²	Fassade

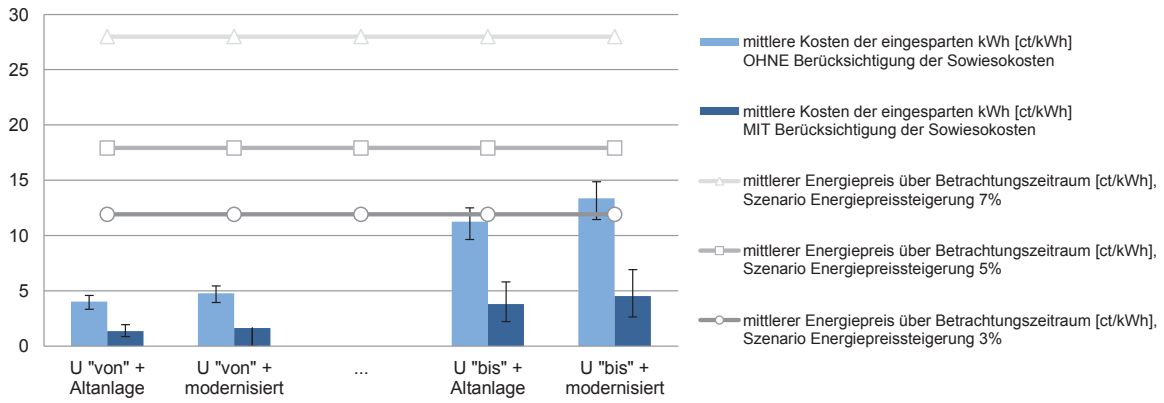
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	[W/(m²K)]	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**434,6**	**70%**	**366,0**	**70%**	**155,2**	**46%**	**130,7**	**46%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	381,7	69%	321,4	69%	125,9	43%	106,1	43%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	524,0	70%	441,3	70%	202,3	48%	170,4	48%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**422,4**	**72%**	**398,7**	**72%**	**177,5**	**50%**	**149,5**	**50%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	371,5	63%	312,8	63%	123,0	36%	103,5	36%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	508,1	65%	427,9	65%	196,7	42%	165,7	42%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,9**	**1,3**	**4,6**	**1,6**	**10,9**	**3,7**	**13,0**	**4,4**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,6	1,9	4,3	2,2	11,0	5,7	13,1	6,7	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,8	0,8	4,5	1,0	9,9	2,1	11,8	2,5	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**4,0**	**0,9**	**5,0**	**1,1**	**11,3**	**2,4**	**13,4**	**2,9**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,7	1,9	4,4	2,3	11,3	5,8	13,4	6,9	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,0	0,9	4,7	1,0	10,2	2,2	12,1	2,6	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

AW-Sk 2.4

mittlere Baukosten			ohne Sowiesokosten			mit Sowiesokosten			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Innendämmung				199			199		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				484			0		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**285**	**342**	**399**	**139**	**100**	**60**	€/m²	Fassade

energetische Qualität			Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand				Sanierung	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	0,35	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	1,3	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**461,3**	**67%**	**388,5**	**67%**	**147,9**	**40%**	**124,6**	**40%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	413,0	67%	347,8	67%	125,9	39%	106,0	39%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	545,0	67%	459,0	67%	185,9	40%	156,6	40%	kWh/(m²a)	Fassade
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**429,4**	**68%**	**418,3**	**68%**	**163,7**	**41%**	**137,9**	**41%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	384,7	66%	323,9	66%	117,7	37%	99,1	37%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	505,0	65%	425,3	65%	172,8	39%	145,5	39%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,4**	**1,0**	**4,1**	**1,2**	**10,7**	**3,1**	**12,7**	**3,7**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,2	1,6	3,8	1,9	10,5	5,1	12,5	6,1	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,4	0,5	4,0	0,6	10,0	1,5	11,8	1,8	ct/kWh	
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,7**	**0,6**	**4,4**	**0,7**	**11,3**	**1,7**	**13,4**	**2,0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,4	1,7	4,1	2,0	11,2	5,5	13,3	6,5	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,7	0,5	4,4	0,7	10,7	1,6	12,7	1,9	ct/kWh	

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

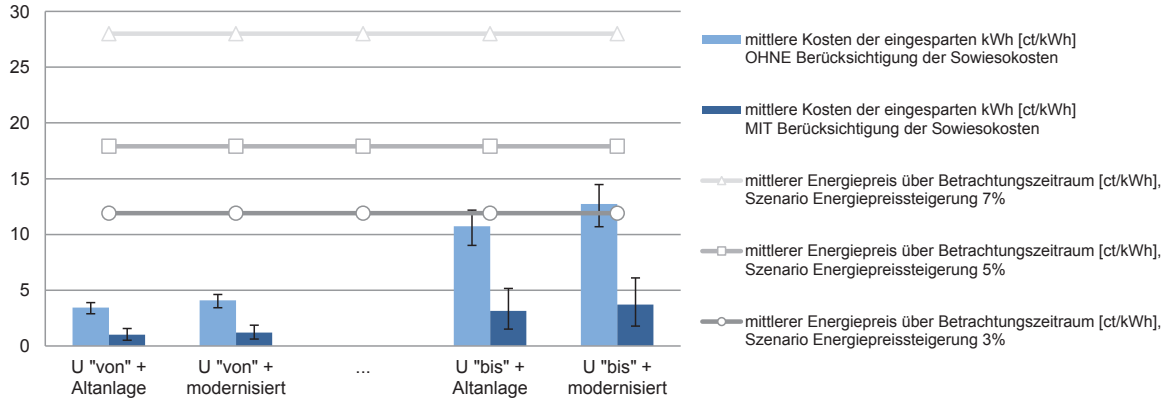
Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

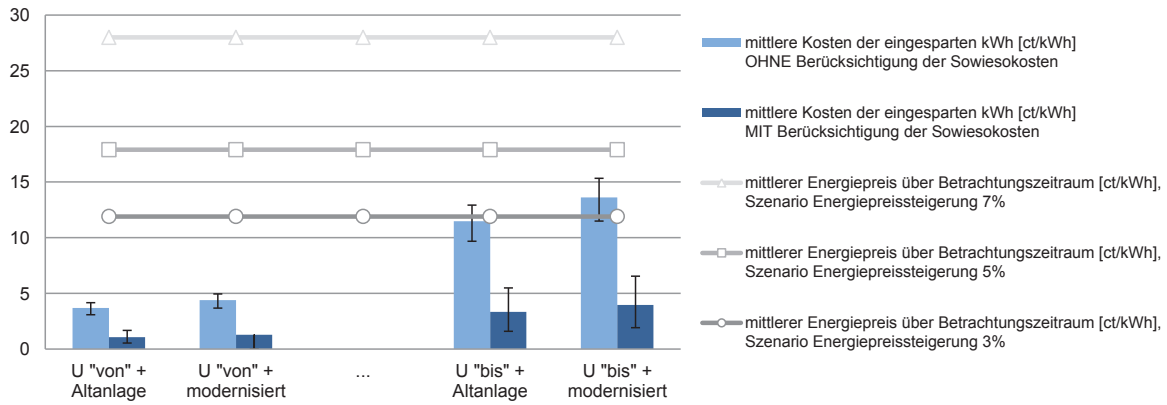
IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- **Innendämmung**
- Kerndämmung
- **Fensteraustausch nach EnEV**
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

Nutzung: Hotel, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Sportstätte, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

AW-Sk 2.5

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- **Skelett massiv**
- Vorhangfassade

Merkmal
- **Lochfassade**
- **Bandfassade**
- Elementfassade

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- **erhaltenswert**

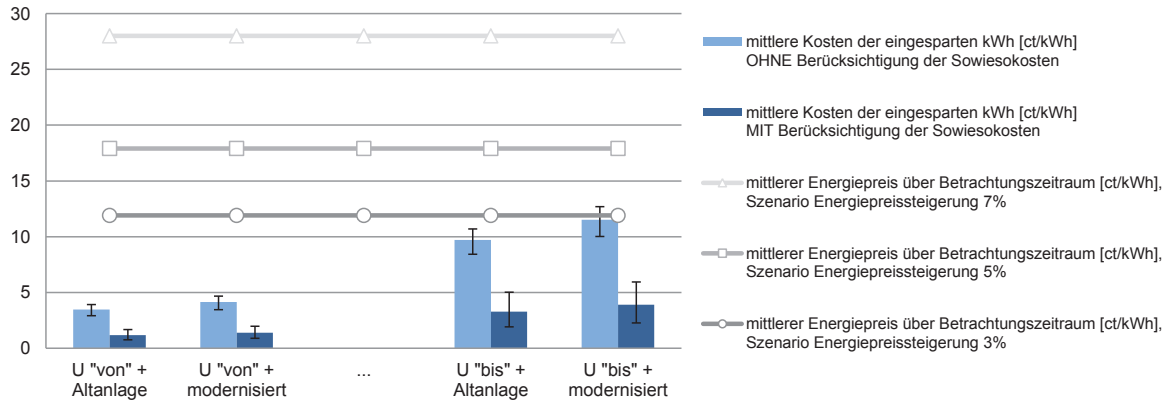
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- **Innendämmung**
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- **Fensteraustausch hochwärmedämmend**
- Fassadenaustausch nach EnEV
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten			**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Außengerüst				-			-		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: Innendämmung				199			199		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				532			48		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				44			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**299**	**366**	**432**	**154**	**124**	**93**	€/m²	Fassade

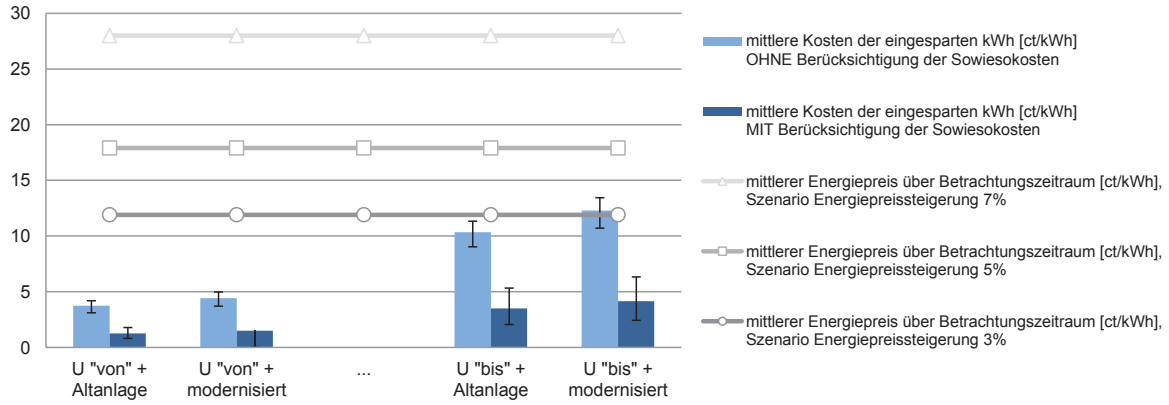
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,5	2,5	1,0	1,0	[W/(m²K)]	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	5,0	5,0	2,7	2,7	0,95	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	-	-	-	-	-	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**488,5**	**71%**	**411,4**	**71%**	**175,1**	**47%**	**147,4**	**47%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	429,9	70%	362,0	70%	142,7	44%	120,2	44%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	585,6	72%	493,1	72%	226,5	49%	190,7	49%	kWh/(m²a)	Fassade
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**455,3**	**73%**	**449,4**	**73%**	**200,7**	**51%**	**169,0**	**51%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Süd	400,9	69%	337,6	69%	133,9	43%	112,8	43%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	543,6	70%	457,8	70%	211,4	48%	178,0	48%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,5**	**1,2**	**4,1**	**1,4**	**9,7**	**3,3**	**11,5**	**3,9**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,2	1,7	3,8	2,0	9,7	5,0	11,6	5,9	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,4	0,7	4,1	0,9	8,9	1,9	10,5	2,3	ct/kWh	
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**3,7**	**0,8**	**4,5**	**1,0**	**10,0**	**2,2**	**11,9**	**2,6**	ct/kWh	
min	fW=30%	Süd	3,5	1,8	4,1	2,1	10,4	5,3	12,3	6,3	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	3,7	0,8	4,4	0,9	9,5	2,1	11,3	2,4	ct/kWh	

Nutzung: Hotel, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Sportstätte, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche

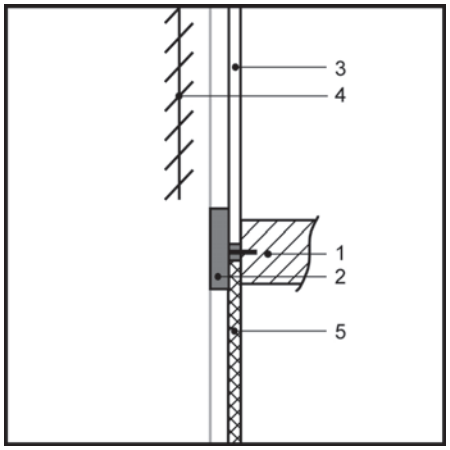


Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

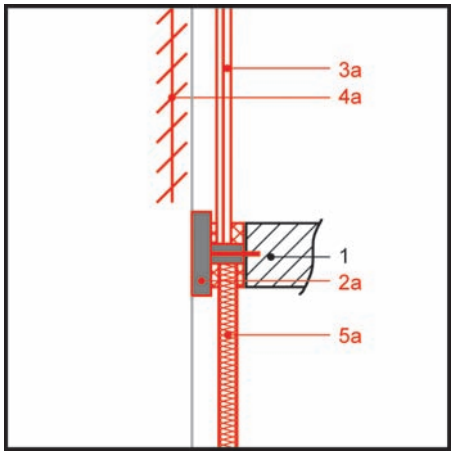
alt **Skelettbauweise, Vorhangfassade, Einfach- o. Isolierglas**

neu **Austausch der Fassadenelemente EnEV (2009)-Standard und verbessert**

AW-Vf 1.1 / 1.2



Ausgangssituation



Sanierungsmaßnahme

1	Tragstruktur, Bestand
2	Fassadenprofil, Bestand
2a	Fassadenprofil, thermisch getrennt (neu)
3	Fenster
3a	Fenster, Wärmedämmglas (neu)
4	Sonnenschutz, Bestand
5	Paneel, Bestand
5a	Paneel, gedämmt (neu)

System

Das wesentliche Merkmal einer Vorhangfassade ist ihr geringes Gewicht und der geringe Platzbedarf. Dünne Rahmenkonstruktionen nehmen transparente, semitransparente oder opake Füllelemente auf, die die wärmschutztechnische Ebene bilden. Das Tragsystem einer Vorhangfassade besteht aus einem Sprossenwerk aus Aluminium oder Stahl, das die anfallenden Lasten in das tragende Gebäudeskelett weiterleitet. Durch den Austausch einschaliger Vorhangfassaden kann die im Bestand häufig nicht vorzufindende thermische Trennung der Anschlüsse und Profile nachträglich gewährleistet werden, wodurch vorhandene Wärmebrücken im Fassadenbereich reduziert werden können. In der Regel wird zur Gewährleistung der thermischen Trennung faserarmierter Kunststoff verwendet, der eine niedrige Wärmeleitung aufweist.

Ein schlanker Aufbau der Paneele kann durch die Verwendung hochwärmegedämmter Vakuumelemente erreicht werden, denn diese besitzen im Gegensatz zu einem herkömmlichen Dämmmaterial eine wesentlich höhere Dämmwirkung.

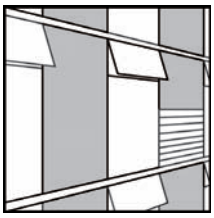
Vorteile

Häufig genügen bestehende Vorhangfassaden, neben ihren schlechten wärmeschutztechnischen Eigenschaften, nicht mehr den ästhetischen Ansprüchen an eine Fassade, was besonders im Nichtwohngebäudebereich einen großen Stellenwert einnimmt. Durch einen Austausch besteht die Möglichkeit, das Erscheinungsbild des gesamten Gebäudes deutlich aufzuwerten. Darüber kann im Rahmen einer ganzheitlichen Sanierung durch einen Austausch der Fassade auf Veränderungen der Gebäudenutzung bzw. inneren Organisation flexibel reagiert werden (z.B. Anpassung des Glasanteils). Weiterer Vorteil besteht in der Möglichkeit der einfachen nachträglichen Integration von Technik (z.B. solartechnische Systeme, dezentrale Lüftungsgeräte, Sonnenschutz, etc.) in das Gebäude. Im Bereich der Vorhangfassaden existieren heute moderne Multifunktionselemente die neben den typischen Aufgaben einer Gebäudehülle viele weitere Funktionen übernehmen können.

Besonderheiten

Vorhangfassaden stellen industriell vorgefertigte, leichte Wetterschutzhüllen dar, die vor das Gebäudetragwerk gehangen werden. Die häufig geschosshohen Elemente werden punktuell an der tragenden Bauwerkskonstruktion befestigt, horizontal und vertikal aneinander gekoppelt und im Stoßbereich der einzelnen Elemente dauerelastisch abgedichtet. Zusätzlich werden die Anschlussfugen zum Baukörper abgedichtet (z.B. mittels einer umlaufenden EPDM Folie).

Im Wesentlichen haben sich zwei Systeme durchgesetzt, die sich hinsichtlich ihrer Fertigung und Baustellenmontage unterscheiden: Eine Pfosten-Riegel-Fassade setzt sich aus den fünf Hauptelementen Pfosten, Riegel, Füllelemente, Dichtungen sowie



Vorhangfassade: U-Werte vorhanden
U_{CW} = 4,0 - 2,3 W/(m²K), g = 0,86 - 0,77

Vorhangfassade: U-Wert nach EnEV 2009
U_{cw} = 1,5 W/(m²K) (bei mind. 19 °C)
U_{cw} = 1,9 W/(m²K) (von 12 °C bis 19 °C)
g = 0,60

Vorhangfassade: U-Wert verbessert
U_{cw} = 0,95 W/(m²K), g = 0,50

Skelettbauweise, elementierte Fassade mit außenliegendem Sonnenschutz.

Press- und Deckleisten zusammen (Einzelstabmontage, Zusammensetzung erfolgt vor Ort); Elementfassaden bilden als vorgefertigte, mindestens geschosshohe Elemente den kompletten Raumabschluss (Vorfertigung im Betrieb einschließlich der Glasmontage). Die Integration einer Beschattung ist bei dieser Maßnahme sehr gut möglich.

Winterlicher Wärmeschutz

Werden bei beheizten oder gekühlten Räumen Vorhangfassaden in der Weise erneuert, dass das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird, fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 den U-Wert der Wand mit $U \leq 1{,}5$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens 19 °C sowie $U \leq 1{,}9$ W/(m²K) für Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis unter 19 °C. Die Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Vorhangfassaden erfolgt nach EN 13947. Gemäß dieser Norm stehen zwei Möglichkeiten zur rechnerischen Ermittlung des U-Werts zur Verfügung, ein vereinfachtes Verfahren sowie das Verfahren mit Beurteilung der einzelnen Komponenten. Weitere Informationen hierzu befinden sich in der Norm.

Wärmebrücken

Bei Vorhangfassaden im Bestand sind die Anschlüsse und Profile häufig nicht thermisch vom Gebäudetragwerk getrennt. Die daraus resultierenden Wärmebrücken können durch den Einsatz thermisch getrennter Profile reduziert werden. Des Weiteren trägt die nachträgliche Dämmung der Anschlussbereiche (z.B. Sockel, Decke) zur Reduzierung der Wärmebrücken bei.

Feuchteschutz

Das Risiko der Tauwasserbildung innerhalb der Fassade wird durch die Dampfdurchlässigkeit der Innenschale und Ausführung von Dichtmaßnahmen im Bereich von Fugen und Befestigungsmitteln bestimmt. Die Entwässerung und Belüftung von Vorhangfassaden erfolgt durch eine Wasserauffangebene, die hinter der äußeren, schlagregendichten und wasserabweisenden Ebene (äußere Glas- und Paneelfläche) angeordnet ist. Diese Ebene ist konsequent allseitig im Anschlussbereich auszuführen. Auf diese Weise können eventuell auftretende Wasserleckagen zuverlässig und kontrolliert nach außen abgeführt werden. Die Abführung der Feuchtigkeit erfolgt in der Regel über ausreichende Belüftungsöffnungen der Fassaden-Falzräume.

Luftdichtheit

Bei sachgemäßer Ausführung der Anschlüsse wird die Luftdichtheit des Gebäudes durch den Fensteraustausch verbessert. Um unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste zu vermeiden, müssen sämtliche Anschlüsse an den Baukörper luftdicht ausgeführt werden.

Sommerlicher Wärmeschutz

Vorhangfassaden bieten in der Regel eine hohe Transparenz, die im Sommer häufig zu Überhitzungsproblemen führen kann. Voraussetzung für akzeptable Innenraumtemperaturen ist in jedem Fall das Vorhandensein eines Sonnenschutzes für die transparenten Bauteilflächen, der im Zuge der Maßnahme eingebaut werden sollte.

Schallschutz

Bei einem lärmbelasteten Standort sind die Vorgaben genau zu prüfen, da mit einer einschaligen Vorhangfassade nur ein eingeschränkter Schallschutz erzielt werden kann. Das schalltechnische Hauptproblem einer Vorhangfassade liegt in der effizienten Abschottung der unterschiedlichen Geschosse sowie der benachbarten Räume (Schalllängsleitung). Dieser Effekt ist bei Pfosten-Riegel-Fassaden stärker ausgeprägt als bei Elementfassaden. Für einen erhöhten Schallschutz ist in der Regel eine Trennung des Fassadenpfostens im Anschlussbereich erforderlich. Verbesserungen bei nicht getrennten Pfosten sind durch in den Innenpfostenbereich eingebrachte Füllungen zu erzielen.

Brandverhalten

Die Anforderungen an den Brandschutz werden in den Bauordnungen der Länder und in den dazugehörigen Verordnungen genannt. Das Gesamtsystem ist u.a. vom Brandverhalten die Einzelkomponenten abhängig. Gemäß EN 13501-1 werden die jeweiligen Bauprodukte in die Klassen A-F unterteilt. Neben dem reinen Brandverhalten werden zudem die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen berücksichtigt. Hieraus ergibt sich die Baustoffklasse des jeweiligen Systems.

Nichttragende Außenwände und nichttragende Teile tragender Außenwände müssen nach Paragraph 28 Satz 2 der Musterbauordnung aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Sie sind aus brennbaren Baustoffen zulässig, wenn sie als raumabschließende Bauteile feuerhemmend sind. Hierbei sind die speziellen brandschutztechnischen Anforderungen zur Verhinderung des Feuerüberschlags zu berücksichtigen.

Wirtschaftlichkeit

In der angeführten Tabelle sind zunächst die Baukosten zusammengefasst, die sich in zwei Spalten gliedern. Da die Berechnungen für unterschiedliche Fensterflächenanteile durchgeführt und dargestellt werden, werden die unterschiedlichen Bezugsflächen bei der Summenbildung berücksichtigt. Die Darstellung der energetischen Qualität enthält die Angabe der U-Werte des opaken und transparenten Teils der Fassade im Ausgangsfall (IST-Zustand) in einer Bandbreite, für die Ausführung der Anlagentechnik stehen auf die Endenergie bezogene Aufwandszahlen stellvertretend für eine typische Altanlage und eine modernisierte Anlage. Im dritten Abschnitt wird die Differenz zwischen berechneten Energiebedarf für den IST-Zustand und Sanierung abgebildet, darüber hinaus ist die prozentuelle Änderung angegeben. Die Streuungsbreite der Ergebnisse bei abweichenden Fensterflächenanteilen (30 %, 70 %) oder Orientierungen (Nord, Süd) ist anhand der Angabe der Werte für "min" und "max" quantifiziert, d.h. bei welcher Variation sich die kleinsten oder größten Einsparungen ergeben. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erfolgt anhand der Berechnung der mittleren Kosten der eingesparten kWh in [ct/kWh]. Diese bezieht sich spaltenweise auf die oben angegebenen mittleren Baukosten. Eine Wirtschaftlichkeit ergibt sich dann, wenn die Kosten der eingesparten kWh unter dem mittleren Energiepreis des Betrachtungszeitraums (40 Jahre) liegen. Die tabellierten Werte sind in den Diagrammen für je zwei Nutzungen dargestellt (oben/unten). Die Balken stellen die mittleren Kosten der eingesparten kWh ohne und mit Berücksichtigung der Sowiesokosten dar, die horizontalen Verläufe den mittleren Energiepreis über den Betrachtungszeitraum für drei verschiedene Szenarien der Energiepreissteigerung. **Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich dann, wenn die Balken (Investition Einsparung) unter den Linien (Energiepreis) liegen.** Ebenfalls enthalten ist ein Fehlerindikator, d.h. die vertikal angeordnete Anzeige der Streuung bei den Balken-Werten. Diese ergibt sich durch die Variation der Orientierungen und Fensterflächenanteile.

AW-Vf 1.1

mittlere Baukosten			**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Austausch Vorhangfassade				532			0		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**532**	**532**	**532**	**0**	**0**	**0**	€/m²	Fassade

energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,0	2,0	1,5	1,5	1,3	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	6,0	6,0	3,2	3,2	1,7	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	4,0	4,0	2,3	2,3	1,5	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**363,9**	**53%**	**306,4**	**53%**	**113,0**	**26%**	**95,2**	**26%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	263,3	45%	221,7	45%	80,2	20%	67,5	20%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	489,9	59%	412,6	59%	158,1	31%	133,1	31%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**351,8**	**60%**	**389,7**	**60%**	**145,2**	**32%**	**122,3**	**32%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	254,3	40%	214,2	40%	77,0	17%	64,9	17%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	473,6	55%	398,8	55%	152,4	28%	128,4	28%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**6,8**	**0**	**8,1**	**0**	**21,9**	**0**	**26,0**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	9,4	0	11,1	0	30,8	0	36,6	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	5,0	0	6,0	0	15,6	0	18,6	0	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**7,0**	**0**	**6,3**	**0**	**17,0**	**0**	**20,2**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	9,7	0	11,5	0	32,1	0	38,1	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	5,2	0	6,2	0	16,2	0	19,3	0	ct/kWh	

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

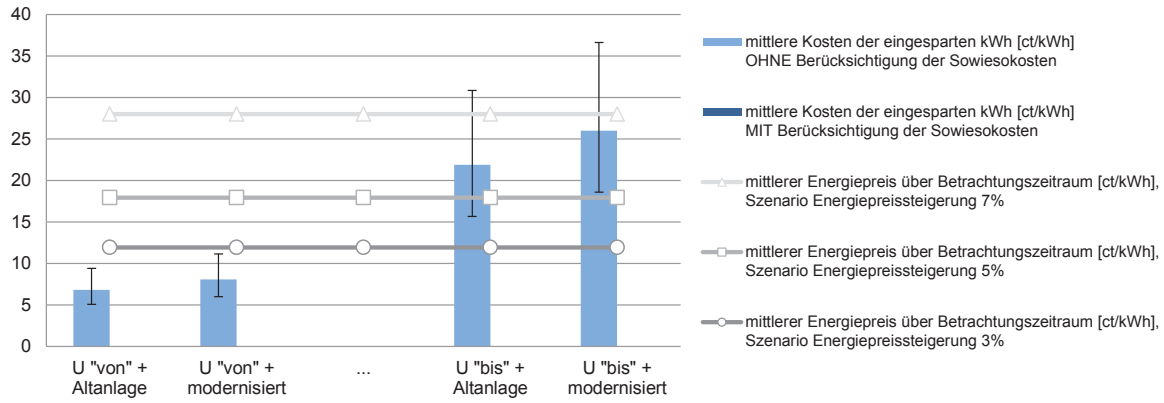
Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- **Vorhangfassade**

Merkmal
- Lochfassade
- Bandfassade
- **Elementfassade**

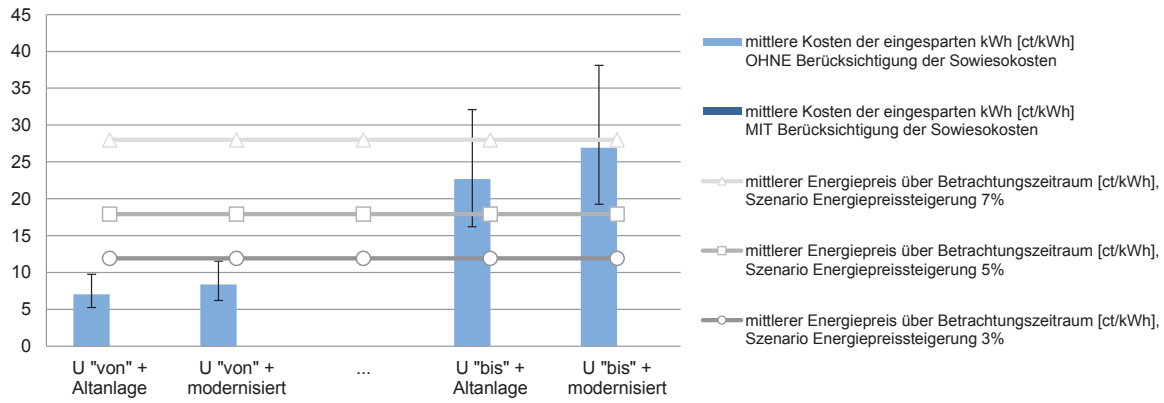
IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- **Fassadenaustausch nach EnEV**
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

AW-Vf 1.2

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- **Vorhangfassade**

Merkmal
- Lochfassade
- Bandfassade
- **Elementfassade**

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

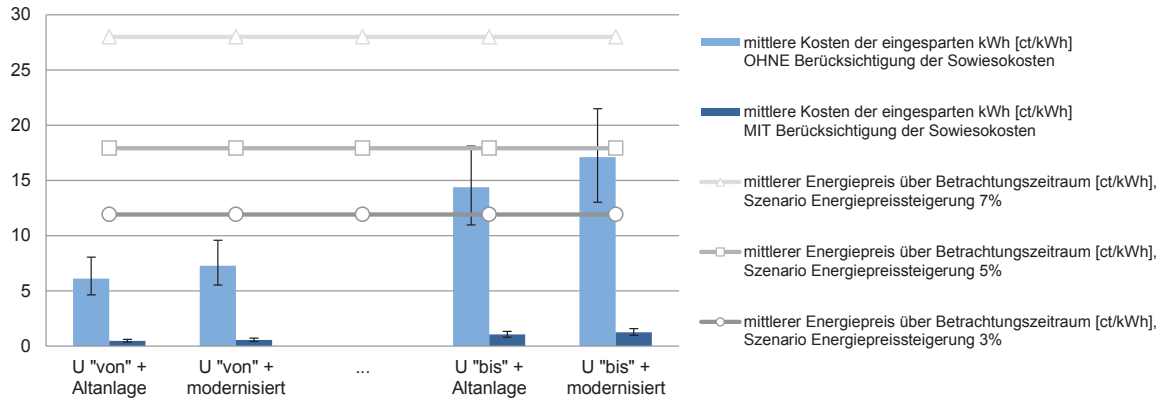
Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- Fassadenaustausch nach EnEV
- **Fassadenaustausch hochwärmedämmend**

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Austausch Vorhangfassade			574			42		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**574**	**574**	**574**	**42**	**42**	**42**	€/m²	Fassade

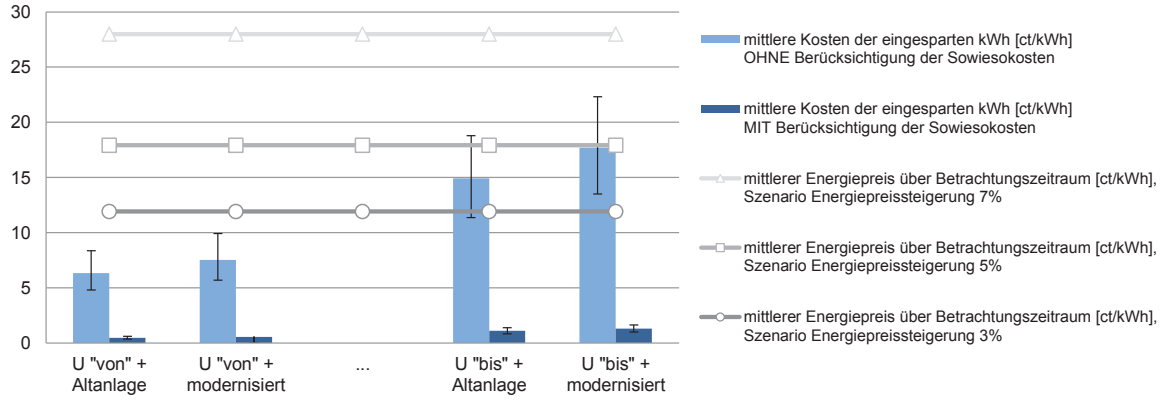
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,0	2,0	1,5	1,5	0,91	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	6,0	6,0	3,2	3,2	1	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	4,0	4,0	2,3	2,3	0,96	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**436,2**	**64%**	**367,4**	**64%**	**185,4**	**43%**	**156,1**	**43%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	331,0	56%	278,8	56%	147,9	36%	124,6	36%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	575,0	69%	484,2	69%	243,2	48%	204,8	48%	kWh/(m²a)	Fassade
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**421,6**	**70%**	**454,7**	**70%**	**222,4**	**49%**	**187,3**	**49%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	319,7	50%	269,2	50%	142,4	31%	119,9	31%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	555,9	64%	468,1	64%	234,8	43%	197,7	43%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Büro	**fW=50%**	**Ost/West**	**6,1**	**0,4**	**7,3**	**0,5**	**14,4**	**1,1**	**17,1**	**1,3**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	8,1	0,6	9,6	0,7	18,0	1,3	21,4	1,6	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,6	0,3	5,5	0,4	11,0	0,8	13,0	1,0	ct/kWh	
Schule	**fW=50%**	**Ost/West**	**6,3**	**0,4**	**5,9**	**0,4**	**12,0**	**0,9**	**14,2**	**1,0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	8,3	0,6	9,9	0,7	18,7	1,4	22,2	1,6	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,8	0,4	5,7	0,4	11,4	0,8	13,5	1,0	ct/kWh	

Nutzung: Büro, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Schule, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

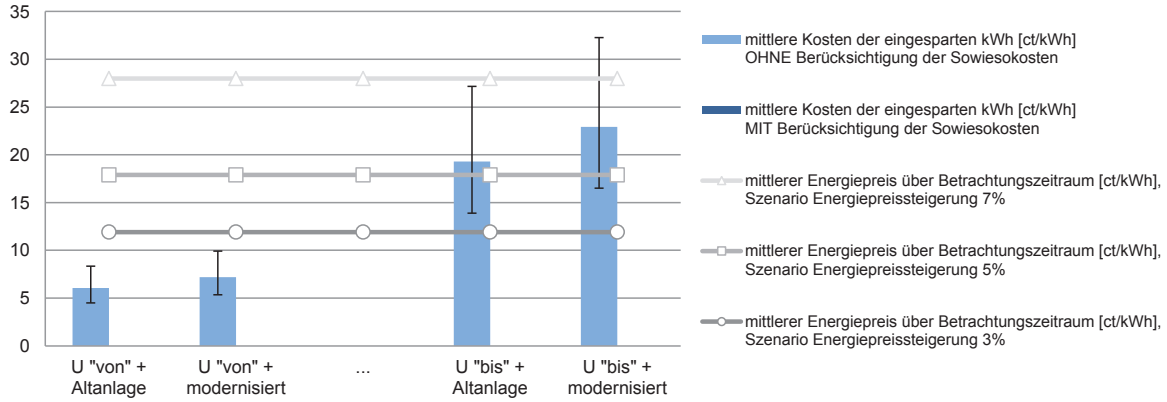
AW-Vf 1.1

mittlere Baukosten			**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Austausch Vorhangfassade				532			0		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -				-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch				-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz				226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil		f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil		**532**	**532**	**532**	**0**	**0**	**0**	€/m²	Fassade

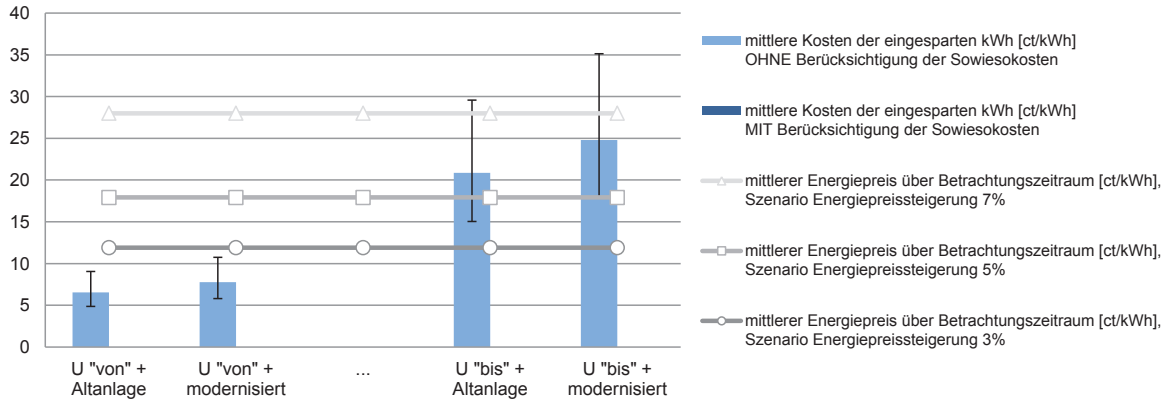
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,0	2,0	1,5	1,5	1,3	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	6,0	6,0	3,2	3,2	1,7	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	4,0	4,0	2,3	2,3	1,5	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**408,7**	**54%**	**344,1**	**54%**	**128,1**	**27%**	**107,9**	**27%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	295,7	45%	249,0	45%	91,0	20%	76,6	20%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	548,7	60%	462,1	60%	177,9	32%	149,8	32%	kWh/(m²a)	Fassade
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**377,9**	**61%**	**438,4**	**61%**	**164,8**	**33%**	**138,8**	**33%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	272,9	44%	229,8	44%	83,5	19%	70,4	19%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	506,4	58%	426,4	58%	164,3	31%	138,4	31%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**6,0**	**0**	**7,2**	**0**	**19,3**	**0**	**22,9**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	8,4	0	9,9	0	27,2	0	32,3	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,5	0	5,3	0	13,9	0	16,5	0	ct/kWh	
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**6,5**	**0**	**5,6**	**0**	**15,0**	**0**	**17,8**	**0**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	9,1	0	10,8	0	29,6	0	35,1	0	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,9	0	5,8	0	15,0	0	17,9	0	ct/kWh	

Nutzung: Hotel, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Sportstätte, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Statik
- tragend
- **nicht tragend**

Bauweise
- massiv 1-schalig
- massiv 2-schalig
- Skelett massiv
- **Vorhangfassade**

Merkmal
- Lochfassade
- Bandfassade
- **Elementfassade**

IST-Zustand
- **ungedämmt**
- erhaltenswert

Maßnahme
- WDVS
- vorgehängte Fassade
- Innendämmung
- Kerndämmung
- Fensteraustausch nach EnEV
- Fensteraustausch hochwärmedämmend
- **Fassadenaustausch nach EnEV**
- Fassadenaustausch hochwärmedämmend

AW-Vf 1.2

Statik
tragend
nicht tragend

Bauweise
massiv 1-schalig
massiv 2-schalig
Skelett massiv
Vorhangfassade

Merkmal
Lochfassade
Bandfassade
Elementfassade

IST-Zustand
ungedämmt
erhaltenswert

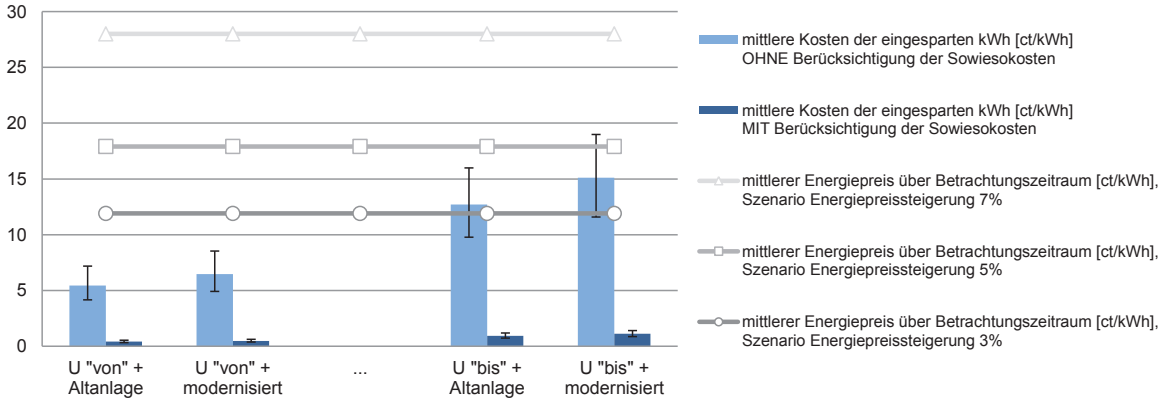
Maßnahme
WDVS
vorgehängte Fassade
Innendämmung
Kerndämmung
Fensteraustausch nach EnEV
Fensteraustausch hochwärmedämmend
Fassadenaustausch nach EnEV
Fassadenaustausch hochwärmedämmend

mittlere Baukosten		**ohne Sowiesokosten**			**mit Sowiesokosten**			Einheit	Bezugsfläche
Austausch Vorhangfassade			574			42		€/m²	Fassade
Zusatzkosten: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 1: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Dämmung 2: -			-			-		€/m²	opake Fassade
Fensteraustausch			-			-		€/m²	transparente Fassade
Sonnenschutz			226			0		€/m²	transparente Fassade
Fensterflächenanteil	f_W	30%	50%	70%	30%	50%	70%	%	Fassade
Summe	je nach Fensterflächenanteil	**574**	**574**	**574**	**42**	**42**	**42**	€/m²	Fassade

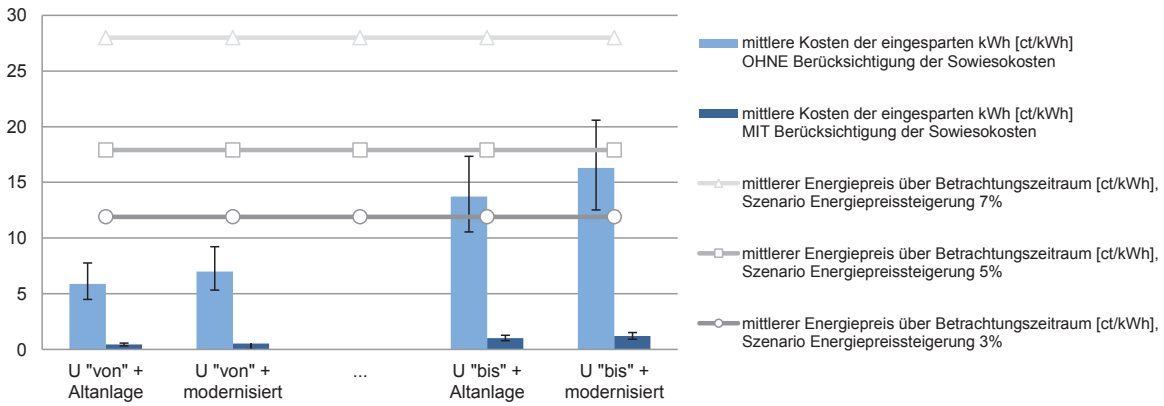
energetische Qualität			**Bandbreite der energetischen Qualität im IST-Zustand**				**Sanierung**	Einheit
			U "von" + Altanlage	U "von" + modernisiert	U "bis" + Altanlage	U "bis" + modernisiert		
Fassade	opak	U_{opak}	2,0	2,0	1,5	1,5	0,91	W/(m²K)
	transparent	$U_{transparent}$	6,0	6,0	3,2	3,2	1	W/(m²K)
	Vorhangfassade	U_{cw}	4,0	4,0	2,3	2,3	0,96	W/(m²K)
Anlage	Typ		Altanlage	modernisiert	Altanlage	modernisiert		
	Aufwandszahl	$e_{Endenergie}$	1,9	1,6	1,9	1,6	wie IST	-

Nutzung	Fensterfläche	Orientierung									Einheit	Bezug
Energieeinsparung Sanierung			delta	%	delta	%	delta	%	delta	%		
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**490,4**	**65%**	**412,9**	**65%**	**209,8**	**44%**	**176,7**	**44%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	371,8	57%	313,1	57%	167,0	37%	140,7	37%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	644,1	70%	542,4	70%	273,3	50%	230,1	50%	kWh/(m²a)	Fassade
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**453,8**	**71%**	**511,9**	**71%**	**252,1**	**50%**	**212,3**	**50%**	kWh/(m²a)	Fassade
min	fW=30%	Ost/West	343,4	55%	289,2	55%	154,1	36%	129,7	36%	kWh/(m²a)	Fassade
max	fW=70%	Nord	595,0	69%	501,0	69%	252,9	48%	213,0	48%	kWh/(m²a)	Fassade
mittlere Kosten der eingesparten kWh OHNE (links) und MIT (rechts) Berücksichtigung der Sowiesokosten												
Hotel	**fW=50%**	**Ost/West**	**5,4**	**0,4**	**6,5**	**0,5**	**12,7**	**0,9**	**15,1**	**1,1**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	7,2	0,5	8,5	0,6	16,0	1,2	19,0	1,4	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,1	0,3	4,9	0,4	9,8	0,7	11,6	0,8	ct/kWh	
Sportstätte	**fW=50%**	**Ost/West**	**5,9**	**0,3**	**5,2**	**0,4**	**10,6**	**0,8**	**12,6**	**0,9**	ct/kWh	
min	fW=30%	Ost/West	7,8	0,6	9,2	0,7	17,3	1,3	20,6	1,5	ct/kWh	
max	fW=70%	Nord	4,5	0,3	5,3	0,4	10,5	0,8	12,5	0,9	ct/kWh	

Nutzung: Hotel, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Nutzung: Sportstätte, Orientierung: Ost/West, Fensterfläche fW=50%, Fehlerindikator zeigt Variation Orientierung/Fensterfläche



Bandbreite der energeitschen Qualität im IST-Zustand, d.h. U-Werte Fassade und Anlagentechnik

Literatur und Bilder

[AgBB] Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten: Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten. 2010. (http://www.umweltbundesamt.de/produkte/bauprodukte/dokumente/AgBB-Bewertungsschema_2010.pdf, Zugriff am 11.06.2012)

[Baunetz1] http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Altbaumodernisierung-Nachtraegliche-Begruenung-von-Daechern_2355397.html,
Zugriff am 23.07.2012.

[Baunetz2] http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Altbaumodernisierung Nachtraegliche-Waermedaemmung-der-obersten-Geschossdecke_148358.html,
Zugriff am 23.07.2012.

[Baunetz3] http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Fassade_ Waermeabfuhr_154563.html,
Zugriff am 23.07.2012.

[Baunetz4] http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Solar-Einfuehrung-in-die-solare-Kaelteerzeugung_906183.html,
Zugriff am 23.07.2012.

[BBR] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Aktualisierte und erweitere Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung -BBR-, Forschungsinitiative Zukunft Bau, Bonn, 2011.

[Ornth] Ornth, W.: Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand. Vom 30. Juli 2009. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2009.

[Brockmann] Brockmann, T.; Herr, R.; Rössig, S.: Vakuumisolationspaneele (VIP) in der Baupraxis. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2011.

[Dorsemagen] Dorsemagen, D.: Büro- und Geschäftshausfassaden der 50er Jahre - Konversatorische Probleme am Beispiel West-Berlin. Dissertation. 2004. (http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2004/845/pdf/dorsemagen_dirk.pdf, Zugriff am 23.07.2012)

[DSB] Deutscher Sportbund: Sportstättenstatistik der Länder. 2002.

[Ebbert] Ebbert, T.: RE-FACE - Refurbishment Strategies for the technical improvement of office facades. Dissertation. 2010.

[EControl] EControl-Glas. (Nutzungsrechte erteilt)

[EnEV] Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung, 29.04.2009, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2009, Teil I, Nr. 23., Bundesanzeiger Verlag, 30. April 2009.

[Fanger] Fanger, P.O.: Thermal Comfort - Analysis and Applications in Environmental Engineering. Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.

[Flib] Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V. (Hrsg.) (2008): Gebäude-Luftdichtheit, Kassel.

[Frank] Frank, W.: Raumklima und Thermische Behaglichkeit. Durchgeführt im Auftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, S. 13, 1975.

[GefStoffV] Bundesministeriums der Justiz: Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen. 2010. (http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gefstoffv_2010/gesamt.pdf, Zugriff am 11.06.2012)

[Hauser] Hauser, G.; Ettrich, M.; Hoppe, M.: Modernisierungsempfehlungen im Rahmen der Ausstellung eines Energieausweises. TU München, 2010.

[Herzog] Herzog, T.; Krippner, R.; Lang, W.: Fassaden Atlas. 2004.

[HMU] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Wärmedämmung von Außenwänden mit der Innendämmung - Wissenswertes über die nachträgliche Dämmung bei Altbauten. 2011. (http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/espi/espi11.pdf; Zugriff am 15.04.2011)

[Kaag] Kaag, W.; Ndi Ndi, P.; Rustom, S.; Ummenhofer, T.; Dröse, F.; Zinke, T.; Fisch, N.; Beier, T.; Eickmeyer, P.: Energieeffiziente Sanierung von Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre - Erarbeitung einer Planungshilfe. Technische Universität Braunschweig (Hrsg.). 2008. (http://www.igs.bau.tu-bs.de/_forschung/_abgeschl.projekte/_pro-sab/images/abschlussbericht_prosab.pdf; Zugriff am 15.04.2011)

[Knaack] Knaack, U.; Klein, T.; Bilow, M.; Auer, T.: Fassaden - Prinzipien der Konstruktion. 2007.

[Lamparter] STAHLBAU LAMPARTER (Nutzungsrechte erteilt).

[Lenz] Lenz, B.; Schreiber, J.; Stark, T.: Nachhaltige Gebäudetechnik. Grundlagen, Systeme, Konzepte. Institut für internationale Architektur-Dokumentation (Hrsg.), München, 2010.

[Leusden] Leusden, F. P. und Freymark, H.: Darstellungen der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch. 1951.

[Maier] Maier, J.: Energetische Sanierung von Altbauten. Stuttgart, 2009.

[Pfundstein] Pfundstein, M.; Gellert, R.; Spitzner, M.-H.; Rudolphi, A.: Dämmstoffe - Grundlagen, Materialien, Anwendungen. Institut für internationale Architektur-Dokumentation (Hrsg.). München 2007.

[Riccabona] Riccabona, Christof; Mezera, Karl: Baukonstruktionslehre 5. Sanierungen. Industriebau. Fassaden. 6. Auflage. Wien 2010.

[Richarz] Richarz, C.; Schulz, C.; Zeitler, F.: Detail Praxis. Energetische Sanierung. Grundla gen. Details. Beispiele. München 2006.

[RS] Bundesverband Rolladen + Sonnenschutz e.V., Stellungnahme im Arbeitsgruppentreffen vom 30.01.2012.

[RS1] Bundesverband Rolladen + Sonnenschutz e.V., Stellungnahme im Arbeitsgruppen treffen vom 12.06.2012.

[Schild] Schild, Kai; Weyers, Michael; Willems, Wolfgang M.: Handbuch Fassadendämmsysteme. Grundlagen. Produkte. Details. 2. Auflage. Stuttgart 2010.

[Schittich] Schittich, C.: Im Detail: Gebäudehüllen. Institut für internationale Architektur-Dokumentation (Hrsg.), München 2006.

[Schmidt] Schmidt Reuter, Integrale Planung und Beratung GmbH: Leitfaden für Energiebe darfsausweise im Nichtwohnungsbau. Ausgabe EnEV 2009. Köln 2009. (http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/29128/publicationFile/27942/leitfaden-fuer-energiebedarfsausweise.pdf, Zugriff am 04.05.2012)

[Schueco] Schueco International KG (Nutzungsrechte erteilt).

[Sefker] Sefker, T. Dezentrale RLT-Anlagen. Energieeffiziente Lösung zur Belüftung von Gebäuden. 2007. (http://www.ihks-fachjournal.de/dezentrale-rlt-anlagen/?q=dezentrale%20rlt%20anlagen; Zugriff am 11.07.2011)

[SMA] SMA Solar Technology AG (Nutzungsrechte erteilt).

[Thiel] Thiel, D.; Riedel, D. Typisierte Bauteilaufbauten-Präzisierung der Pauschalwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten aus der Bekanntmachung der Regeln der Datenauf nahme im Nichtwohngebäudebestand. 2011. (http://content.schweitzer-online.de/static/content/catalog/newbooks/978/381/678/9783816786054/9783816786054_TOC_001.pdf, Zugriff am 01.12.2011

[Trogisch] Trogisch, A.: Planungshilfen Lüftungstechnik. 2. Auflage, Heidelberg 2006

[Trox] TROX GmbH: Luft zum Lernen. TROX SCHOOLAIR - Energieeffiziente Lüftungslösungen für Schulen. 2010.

[UniS] Universität Stuttgart: http://www.bauphysikalische-altbaumodernisierung.de/Index.html, Zugriff am 30.08.2012

[VFF] Verband Fenster + Fassade; Bundesverband Flachglas e.V.: Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern. 2011.

[Volz] Volz, B.: Glasprofile in der Fassade - Entwicklung einer solar optimierten Systemfassade. Dissertation. 2006. (http://d-nb.info/981609473/34, Zugriff am 28.07.2011)

[Voss] Voss, K.; Löhnert, G.; Herkel, S.; Wagner, A.; Wamnsganß, M.: Bürogebäude mit Zukunft. 2007.

Normen und Richtlinien

[ASRA3.6] ASR A 3.6: Technische Regeln für Arbeitsstätten - Lüftung. ASR A 3.6:2012-01-30. Beuth Verlag GmbH.

[DIN18008-1-5] DIN 18008-1-5: Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln - Teile 1-5. Deutsche Normen DIN 18008-1:2010-12; DIN 18008-2:2010-12; E DIN 18008-3:2011-10; E DIN 18008-4:2011-10; E DIN 18008-5:2011-10. Beuth Verlag GmbH.

[DIN18041] DIN 18041: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. Deutsche Norm DIN 18041:2004-05. Beuth Verlag GmbH.

[DIN18195-1-10] DIN 18195-1-10: Bauwerksabdichtungen - Teile 1 - 10. Deutsche Normen DIN 18195-1:2011-12; DIN 18195-2:2009-04; DIN 18195-3:2011-12; DIN 18195-4:2011-12; DIN 18195-5:2011-12; DIN 18195-6:2011-12; DIN 18195-7:2009-07; DIN 18195-8:2011-12; DIN 18195-9:2010-05; DIN 18195-10:2011-12. Beuth Verlag GmbH.

[DIN18516-1-5] DIN 18516-1-5: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet - Teile 1-5. Deutsche Normen DIN 18516-1:2010-06; DIN 18516-3:2011-11; DIN 18516-4:1990-02; DIN 18516-5:1999-12. Beuth Verlag GmbH.

[DIN18531-1-4] DIN 18531-1-4: Dachabdichtungen - Dachabdichtungen für nichtgenutzte Dächer - Teile 1-4. Deutsche Normen DIN 18531-1:2010-05; DIN 18531-2:2010-05; DIN 18531-3:2010-05; DIN 18531-4:2010-05. Beuth Verlag GmbH.

[DIN18540] DIN 18540: Abdichten von Außenwandfugen im Hochbau mit Fugendichtstoffen. Deutsche Norm DIN 18540:2006-12. Beuth Verlag GmbH.

[DIN4102-1] DIN 4102-1: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe - Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Deutsche Norm DIN 4102-1:1998-05. Beuth Verlag GmbH.

[DIN4102-2] DIN 4102-2: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 2: Bauteile - Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Deutsche Norm DIN 4102:1977-09. Beuth Verlag GmbH.

[DIN4108-2] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Deutsche Norm DIN 4108-2:2003-07. Beuth Verlag GmbH.

[DIN4108-3] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Deutsche Norm DIN 4108-3:2001-07. Beuth Verlag GmbH.

[DIN4108-7] DIN 4108-7: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 7: Luftdicht heit von Gebäuden - Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele. Deutsche Norm DIN 4108-7:2011-01. Beuth Verlag GmbH.

[DIN4108Bbl.2] DIN 4108 Beiblatt 2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele. Deutsches Normbeiblatt DIN 4108 Bbl.2:2006-03. Beuth Verlag GmbH.

[DIN4109] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau. Anforderungen und Nachweise. Deutsche Norm DIN 4109:1989-11. Beuth Verlag GmbH.

[DIN4109Bbl.2] DIN 4109 Beiblatt 2: Schallschutz im Hochbau. Hinweise für Planung und Ausführung. Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz. Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich. Deutsches Normbeiblatt DIN 4109 Beiblatt 2:1989-11. Beuth Verlag GmbH.

[DIN5034-1-6] DIN 5034-1-6: Tageslicht in Innenräumen - Teile 1-6. Deutsche Normen DIN 5034-1:2011-07; DIN 5034-2:1985-02; DIN 5034-3:2007-02; DIN 5034-4:1994-09; DIN 5034-5:2010-11; DIN 5034-6:2007-02. Beuth Verlag GmbH.

[DIN5035-7] DIN 5035-7: Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen. Deutsche Norm DIN 5035-7:2004-08. Beuth Verlag GmbH.

[DIN55699] DIN 55699: Verarbeitung von Wärmedämm-Verbundsystemen. Deutsche Norm DIN 55699:2005-02. Beuth Verlag GmbH.

[DINV18550] DIN V 18550: Putz- und Putzsysteme - Ausführung. Deutsche Norm DIN 18550:2005-04. Beuth Verlag GmbH.

[DINV18599-1-11] DIN V 18599-1-11: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teile 1-11. Deutsche Normen Vornorm DIN V 18599-1:2011-12; DIN V 18599-2:2011-12; DIN V 18599-3:2011-12; DIN V 18599-4:2011-12; DIN V 18599-5:2011-12; DIN V 18599-6:2011-12; DIN V 18599-7:2011-12; DIN V 18599-8:2011-12; DIN V 18599-9:2011-12; DIN V 18599-10:2011-12; DIN V 18599-11:2011-12. Beuth Verlag GmbH.

[EDIN4108] E DIN 4108-2:2011-09: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.

[EN12193] DIN EN 12193: Licht und Beleuchtung - Sportstättenbeleuchtung. Deutsche Fassung EN 12193:2008-04. Beuth Verlag GmbH.

[EN12207] DIN EN 12207: Fenster und Türen - Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung. Deutsche Fassung EN 12207:2000-06. Beuth Verlag GmbH.

[EN12464-1] EN 12464-1: Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Deutsche Fassung EN 12464 1:2011-08. Beuth Verlag GmbH.

[EN12665] DIN EN 12665: Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung. Deutsche Fassung EN 12665:2011-09. Beuth Verlag GmbH.

[EN12977-1-5] DIN EN 12977-1-5: Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile - Kundenspezifisch gefertigte Anlagen - Teile 1-5. Deutsche Fassungen EN 12977-1:2012-06; EN 12977-2:2012-06; EN 12977-3:2012-06; EN 12977-4:2012-06; EN 12977-5:2012-06. Beuth Verlag GmbH.

[EN13125] DIN EN 13125: Abschlüsse. Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand. Zuordnung einer Luftdurchlässigkeitsklasse zu einem Produkt. Deutsche Fassung EN 13125:2001-10. Beuth Verlag GmbH.

[EN13162] DIN EN 13162: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) - Spezifikation. Deutsche Fassung EN 13162:2009-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13163] DIN EN 13163: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS) - Spezifikation. Deutsche Fassung EN 13163:2009-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13164] DIN EN 16164: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus extrudiertem Polystyrolschaum (XPS) - Spezifikation. Deutsche Fassung EN 13164:2009-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13165] DIN EN 13165: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Polyurethan-Hartschaum (PU) - Spezifikation. Deutsche Fassung EN 13165:2009-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13166] DIN EN 13166: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Phenolharzschaum (PF) - Spezifikation. Deutsche Fassung EN 1366:2009-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13167] DIN EN 1367: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Schaumglas (CG) - Spezifikation. Deutsche Fassung EN 13167:2009-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13168] DIN EN 13168: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Holzwolle (WW) - Spezifikation. Deutsche Fassung EN 13168:2009-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13169] DIN EN 13169: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Blähperlit (EPB) - Spezifikation. Deutsche Fassung EN 13169:2009-09. Beuth Verlag GmbH.

[EN13170] DIN EN 13170: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Kork (ICB) - Spezifikation. Deutsche Fassung 13170:2009-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13171] DIN EN 13171: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Holzfasern (WF) - Spezifikation. Deutsche Fassung 13171:2009-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13172] DIN EN 13172: Wärmedämmstoffe - Konformitätsbewertung. Deutsche Fassung 13172:2012-04. Beuth Verlag GmbH.

[EN13363-1] DIN EN 13363-1: Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen - Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades - Teil 1: Verein fachtes Verfahren. Deutsche Fassung EN 13363-1:2007-09; DIN EN 13363-1 Ber 1:2009-09. Beuth Verlag GmbH.

[EN13363-2] DIN EN 13363-2: Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen - Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades - Teil 2: Detailliertes Berechnungsverfahren. Deutsche Fassung EN 13363-2:2005-06; DIN EN 13363-2 Ber 1:2007-04. Beuth Verlag GmbH.

[EN13494] DIN EN 13494: Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmungen der Haftzugfestigkeit zwischen Klebemasse/Klebemörtel und Wärmedämmstoff sowie zwischen Unterputz und Wärmedämmstoff. Deutsche Fassung EN 13494:2003-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13495] DIN EN 13495: Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmungen der Abrissfestigkeit von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS). Deutsche Fassung EN 13495:2003-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13496] DIN EN 13496: Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Glasfasergewebe. Deutsche Fassung EN 13496:2003-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13497] DIN EN 13497: Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmung der Schlagfestigkeit von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS). Deutsche Fassung EN 13497:2003-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13498] DIN EN 13498: Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmung des Eindringwiderstandes von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS). Deutsche Fassung EN 13498:2003-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13499] DIN EN 13499: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol - Spezifikation. Deutsche Fassung EN 13499:2003-12. Beuth Verlag GmbH.

[EN13500] DIN EN 13500: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus Mineralwolle - Spezifikation. Deutsche Fassung EN 13500:2003-12. Beuth Verlag GmbH.

[EN13501-1] DIN EN 13501-1: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten. Deutsche Fassung EN 13501-1:2010-01. Beuth Verlag GmbH.

[EN13501-2] DIN EN 13501-2: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen. Deutsche Fassung EN 13501-2:2010-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13501-5] DIN EN 13501-5: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 5: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus Prüfungen von Bedachungen bei Beanspruchung durch Feuer von außen. Deutsche Fassung EN 13501-5:2010-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13561] DIN EN 13561: Markisen - Leistungs- und Sicherheitsanforderungen. Deutsche Fassung EN 13561:2009-01. Beuth Verlag GmbH.

[EN13659] DIN EN 13659: Abschlüsse außen und Außenjalousien - Leistungs- und Sicherheitsanforderungen. Deutsche Fassung EN 13659:2009-01. Beuth Verlag GmbH.

[EN13779] DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme. Deutsche Fassung EN 13779:2007-09. Beuth Verlag GmbH.

[EN13829] DIN EN 13829: Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden. Deutsche Fassung. EN 13829:2001-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13829] DIN EN 13829: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert). Deutsche Fassung EN 13829:2001-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN13859-1] DIN EN 13859-1: Abdichtungsbahnen - Definitionen und Eigenschaften von Unterdeck- und Unterspannbahnen - Teil 1: Unterdeck- und Unterspannbahnen für Dachdeckungen. Deutsche Fassung EN 13859-1:2010-11. Beuth Verlag GmbH.

[EN13914-1-2] DIN EN 13914-1-2: Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen - Teile 1-2; Deutsche Fassung EN 13914-1:2005-06; EN 13914-2:2005-07. Beuth Verlag GmbH.

[EN13947] DIN EN 13947: Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten. Deutsche Fassung EN 13947:2007-07. Beuth Verlag GmbH.

[EN14500] DIN EN 14500: Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Prüf- und Berechnungsverfahren. Deutsche Fassung EN 14500:2008-08. Beuth Verlag GmbH.

[EN14501] DIN EN 14501: Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Leistungsanforderungen und Klassifizierung. Deutsche Fassung EN 14501:2006-02. Beuth Verlag GmbH.

[EN15193] DIN EN 15193: Energetische Bewertung von Gebäuden - Energetische Anforderungen an die Beleuchtung. Deutsche Fassung EN 15193:2008-03. Beuth Verlag GmbH.

[EN15217] DIN EN 15217: Energieeffizienz von Gebäuden - Verfahren zur Darstellung der Energieeffizienz und zur Erstellung des Gebäudeenergieausweises. Deutsche Fassung EN 15217:2007-09. Beuth Verlag GmbH.

[EN15232] DIN EN 15232: Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement. Deutsche Fassung EN 15232:2012-09. Beuth Verlag GmbH.

[EN15239] DIN EN 15239: Lüftung von Gebäuden - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen. Deutsche Fassung EN 15239:2007-08. Beuth Verlag GmbH.

[EN15251] DIN EN 15251: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Deutsche Fassung EN 15251:2007-08. Beuth Verlag GmbH.

[EN61173] DIN EN 61173: Überspannungsschutz für photovoltaische (PV) Stromerzeugungssysteme - Leitfaden. Deutsche Fassung EN 61173:1996-10. Beuth Verlag GmbH.

[EN410] DIN EN 410: Glas im Bauwesen - Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen. Deutsche Fassung EN 410:2011-04. Beuth Verlag GmbH.

[EN482] DIN EN 482: Exposition am Arbeitsplatz - Allgemeine Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Verfahren zur Messung chemischer Arbeitsstoffe. Deutsche Fassung EN 482:2012-06. Beuth Verlag GmbH.

[EN673] DIN EN 673: Glas im Bauwesen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) - Berechnungsverfahren. Deutsche Fassung EN 673:2011-04. Beuth Verlag GmbH.

[ENISO10077-1-2] DIN EN ISO 10077-1-2: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türe und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teile 1-2. Deutsche Fassungen EN ISO 10077:2010-05; EN ISO 10077:2012-10. Beuth Verlag GmbH.

[ENISO10211] DIN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen. Deutsche Fassung EN ISO 10211:2008-04. Beuth Verlag GmbH.

[ENISO13370] DIN EN ISO 13370: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Wärmeübertragung über das Erdreich. Deutsche Fassung EN ISO 13370:2008-04. Beuth Verlag GmbH.

[ENISO13788] DIN EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren. Deutsche Fassung EN ISO 13788:2001-11. Beuth Verlag GmbH.

[ENISO16484-1-5] DIN EN ISO 16484-1-5: Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teile 1-5. Deutsche Fassungen EN ISO 16484-1:2011-03; EN ISO 16484-2:2004-10; EN ISO 16484-3:2005-12; EN ISO 16484-5:2011-03. Beuth Verlag GmbH.

[ENISO6946] DIN EN ISO 6946: Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren (ISO 6946:2007). Deutsche Fassung EN ISO 6946:2008-04. Beuth Verlag GmbH.

[ENISO717-1] DIN EN ISO 717-1: Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung. Deutsche Fassung EN ISO 717-1:2006-11. Beuth Verlag GmbH.

[ENISO717-2] DIN EN ISO 717-2: Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 2: Trittschalldämmung. Deutsche Fassung EN ISO 717-1:2006-11. Beuth Verlag GmbH.

[ENISO7730] DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. Deutsche Fassung EN ISO 7730:2007-06. Beuth Verlag GmbH.

[VDI2569] VDI 2569: VDI Richtlinien: Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro. VDI 2569:1990-01. Beuth Verlag GmbH.

[VDI2719] VDI 2719: VDI Richtlinien: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen. VDI 2719:1987-08. Beuth Verlag GmbH.

[VDI3814Bbl1] VDI 3814-1: VDI Richtlinien: Gebäudeautomation (GA) - Systemgrundlagen. VDI 1814 Blatt 12009-11. Beuth Verlag GmbH.

[VDI3814Bbl2] VDI 3814-2: VDI Richtlinien: Gebäudeautomation (GA) - Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln. VDI 1814 Blatt 2:2009-07. Beuth Verlag GmbH.

[VDI3814Bbl3] VDI 3814-3: VDI Richtlinien: Gebäudeautomation (GA) - Hinweise für das Gebäude management - Planung, Betrieb und Instandhaltung. VDI 1814 Blatt 3:2007-06. Beuth Verlag GmbH.

[VDI3814Bbl5] VDI 3814-5: VDI Richtlinien: Gebäudeautomation (GA) - Hinweise zur Systemintegration. VDI 1814 Blatt 5:2010-03. Beuth Verlag GmbH.

[VDI3814Bbl6] VDI 3814-6: VDI Richtlinien: Gebäudeautomation (GA) - Grafische Darstellung von Steuerungsaufgaben. VDI 1814 Blatt 6:2008-07. Beuth Verlag GmbH.

[VDI3814Bbl7] VDI 3814-7: VDI Richtlinien: Gebäudeautomation (GA) - Gestaltung von Benutzeroberflächen. VDI 1814 Blatt 7:2012-07. Beuth Verlag GmbH.

[VDI4100] VDI 4100: VDI Richtlinien: Schallschutz von Wohnungen - Kriterien für Planung und Beurteilung. VDI 4100:2012-10. Beuth Verlag GmbH.

[VDI4300] VDI 4300: VDI Richtlinien: Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen. VDI 4300-1:1995-12; VDI 4300-4:1997-08; VDI 4300-7:2001-07; VDI 4300-9:2005-08; VDI 4300-10:2008-07; VDI 4300-11:2011-12. Beuth Verlag GmbH.

[VDI4706] VDI 4706: VDI Richtlinien: Kriterien für das Raumklima. VDI 4706:2011-04. Beuth Verlag GmbH.

[VdS2333] VdS 2333: Sicherungsrichtlinien für Geschäfte und Betriebe. VdS 2333: 2005-04. (http://vds.de/fileadmin/vds_publikationen/vds_2333_web.pdf; Zugriff am 29.08.2012)